

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

MARTA DUDOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

**VLIV ANIZOTROPIE OHYBOVÉ TUHOSTI
NA SPLÝVAVOST TKANIN**
**THE EFFECT OF ANISOTROPY BENDING
STIFFNESS OF FABRICS ON THEIR DRAPE**

Marta Dudová

KHT-156

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran textu... 59

Počet obrázků..... 44

Počet tabulek..... 7

Počet stran příloh . 10

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marta Dudová**
Osobní číslo: **T09000131**
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**
Studijní obor: **Management jakosti**
Název tématu: **Vliv anizotropie ohybové tuhosti na splývavost tkanin**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. V rešeršní části zmapujte dosavadní vědomosti o metodách měření splývavosti a anizotropie ohybové tuhosti.
2. Provedte experimentální měření ohybové tuhosti na kruhových vzorcích textilií. Provedte měření splývavosti na drapemetru. Analyzujte vzniklé tvary splývání.
3. Statistickými metodami vyhodnoťte závislost ohybové tuhosti na splývavosti textilních vzorků. Prověřte, zda lze a do jaké míry, predikovat splývavost zkoumaného druhu textilie metodou ohybu kruhových vzorků.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Fridrichová, L.: K problematice stanovení ohybové tuhosti plošných textilií. [Disertační práce]. Liberec: TUL, 2000.
2. Fridrichová, L.: K problematice ohybové tuhosti textilií. [Habilitační práce]. Liberec. RUKOPIS.
3. Lomov, S.V.: A Predictive Model for the Fabric-to-Yarn Bending Stiffness Ratio of a Plain-Woven Set Fabric. Textile Research Journal, Vol. 70, No. 12, 1088-1096 (2000)
4. Sidabraitė, V., Masteikaite, V: Effect of Woven Fabric Anisotropy on Drape Behaviour. Materials Science. Vol. 9, No. 1. 2003.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.

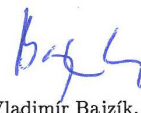
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce: **30. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2012**



prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.
děkan



Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2011

PROHLÁŠENÍ

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. za cenné rady, vstřícnost a čas, který mi věnovala během realizace této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat společnosti Velveta a.s. za poskytnutý materiál pro experimentální část. V neposlední řadě bych také ráda poděkovala svým blízkým, kteří mi byli po celou dobu studia oporou.

ANOTACE

Tato práce je zaměřena na zkoumání vlivu anizotropie ohybové tuhosti textilií na jejich splývavost. V teoretické části jsou představeny pojmy ohybová tuhost a splývavost s nejběžnějšími metodami a principy jejich měření. Zmapován byl dosavadní výzkum v oblasti ohybových a anizotropních vlastností textilií.

V praktické části byla zkoumána ohybová tuhost a splývavost tkanin, které poskytla společnost Velveta a.s. Měření ohybové tuhosti kruhových vzorků bylo provedeno pomocí přístroje TH-7. Byl vyhodnocen stupeň anizotropie ohybové tuhosti v závislosti na dvou hlavních směrech, osnovy a útku, dále podle Cooperova teoretického modelu byl zahrnut i třetí diagonální směr. Splývavost byla naměřena na Cusickově drapemetru, doplněném o digitální fotoaparát pro zachycení profilu splývajícího vzorku. V počítači byly 2D obrazy upraveny a naměřeny splývající délky v třiceti-šesti různých směrech. Pro srovnání ohybové tuhosti a splývavosti byly vytvořeny polární diagramy, ze kterých byly spočteny plochy a obvody. Pomocí lineární regrese pak byly nalezeny vztahy mezi jednotlivými hodnotami ohybové tuhosti a splývavosti. Byla nalezena přímá závislost mezi ohybovou tuhostí a splývacími délkami.

Prověřovalo se, zda je nutné mít pro měření na drapemeteru vždy jiný vzorek nebo zda lze měření provést opakovaně na jednom vzorku. Pomocí statistických výpočtů a grafického zobrazení se neprokázal významný rozdíl. Dále byl vypočten tvarový faktor pro ohybovou tuhost a splývavost. Tvarový faktor se ukázal s koeficientem splývavosti vysoce korelovaný, mohl by proto být dobrým prediktorem koeficientu splývavosti.

KLÍČOVÁ SLOVA:

anizotropie, ohýb, ohybová tuhost, splývavost, predikce, tkanina

ANNOTATION

This thesis is focused on analyzing the effect of bending stiffness of fabrics on their drape. In the theoretical part, concepts of bending stiffness and fabric drape profile are introduced. The most common experimental methods for their experimental determination are presented. The state-of-the-art in the field of bending stiffness anisotropy research is presented.

In the experimental part, there are presented results of the bending stiffness and drape profile measurements carried on fabrics produced by Velveta Co. Bending stiffness measurements of circular samples were measured on TH-7 device. The anisotropy in the stiffness bending along two main directions of the warp and weft were measured. The anisotropy degree was then evaluated. In addition, the third bias direction was considered according to the theoretical model by Cooper. The fabric drape profile was measured using Cusick drapemeter, which was supplemented by a digital camera in order to capture the profile of the fabric sample. The two-dimensional images were processed using PC and the drape profile lengths were measured for 36 different directions. In order to compare the bending stiffness and drape profile length values, the polar diagrams were created. Their areas and circumferences were calculated. The relations between bending stiffness and the drape profile length values were expressed using the linear regression method. The linear relation between the bending stiffness and the drape profile lengths was identified.

It was checked, whether it is necessary to measure several different samples on a drapemeter or whether several measurements carried out on a single sample are still acceptable. Results of statistical calculations and a graphical analysis indicated that there is not any significant difference between the two aforementioned experimental procedures. Finally, shape factor for the bending stiffness and the drape profile coefficient were calculated. It was found that the shape factor is highly correlated with the drape profile coefficient and, thus, it offers a useful tool for the prediction of the drape coefficient.

KEY WORDS:

anisotropy, bending, bending stiffness, drape, prediction, fabrics

Obsah

Úvod.....	11
1 Tuhost v ohybu	12
1.1 Normy upravující měření tuhosti v ohybu	13
2 Splývavost	14
2.1 Normy upravující měření splývavosti textilií	14
3 Dosavadní výzkum měření splývavosti a anizotropie ohybové tuhosti.....	15
4 Metody měření tuhosti v ohybu	21
4.1 Metody podle Sommera.....	21
4.2 Metoda podle ASTM (cantilever test)	23
4.3 Metoda přepisem.....	24
4.4 Měření ohybové tuhosti podle ČSN 80 0858.....	25
4.5 Přístroj TH-7	27
4.6 KES – Kawabata Evaluation Systém.....	29
5 Metody měření splývavosti.....	31
5.1 Měření splývavosti podle Cusicka.....	31
5.2 Měření splývavosti podle ČSN 80 0835	32
5.3 Měření splývavosti pomocí přístroje F.R.L. Drapemeter	33
5.4 I.T.F. Drapemeter.....	35
5.5 Zjišťování splývavosti pomocí obrazové analýzy	35
5.6 Měření splývavosti na přístroji Sylvie 3D Drape Tester	37
5.6.1 Dynamický účinek na splývavost	40
6 Experimentální část	41
6.1 Materiály použité na experiment	41
6.2 Příprava vzorků.....	43
6.3 Měření na přístroji TH-7.....	44
6.4 Měření splývavosti.....	45
6.5 Vyhodnocení ohybové tuhosti	48
6.6 Vyhodnocení splývavosti.....	54
6.7 Srovnání ohybové tuhosti a splývavosti	58
6. Predikce ohybové tuhosti a splývavosti.....	63
Závěr.....	68
Seznam použité literatury.....	71
Příloha A – měření jednoho vzorku opakovaně x měření více vzorků jednou	74
Příloha B – Data splývavosti znázorněné pomocí krabicových grafů.....	77
Příloha C – korelace hodnot splývavosti.....	79
Příloha D – Anizotropie splývavosti	81
Příloha E – Anizotropie ohybové tuhosti	83

Seznam použitých zkratk a symbolů

a.s.		akciová společnost
ASTM		Američan Standard Test Metod
BS		Britská norma (British Standards)
Co		company (společnost)
ČSN		Česká státní norma
F.R.L.		Fabric Research Laboratoriem
FT		Textilní fakulta
IS		Indian Standards
KES		Kawabata Evaluation Systém
Kol.		kolektiv
LT		linearita
MMD		průměrná odchylka koeficientu tření
Obr.		obrázek
s.		strana
TH-5		přístroj na měření ohybové tuhosti
TH-7		přístroj na měření ohybové tuhosti – inovace
tj.		to jest
TUL		Technická univerzita v Liberci
<i>b</i>		materiál dyftýn Rozela bez úpravy
<i>c</i>		materiál dyftýn Rozela s úpravou 3XDRY
<i>ce</i>		materiál dyftýn Rex bez úpravy
<i>z</i>		materiál dyftýn Rex s úpravou Teflon® Fabric Protektor
A_d	[mm ²]	promítnutá plocha textilie, podle [14]
a_i	[mm]	strana trojúhelníku (1/36 obvodu průmětu)
b_i	[mm]	délka od středu k okraji průmětu dle pořadí
		ohybová tuhost v osnově, v útku a v diagonálním směru, podle
B_{A1}, B_{A2}, B_{A3}	[μNm]	[16]
c_i	[mm]	délka od středu k okraji průmětu dle pořadí,
DC	[%]	koeficient splývavosti

DU	[-]	parametr nerovnosti (Drape Unevenness Factor), [27]
F	[mN]	ohybová síla
F_o, F_u, F_d	[mN]	ohybová síla ve směru osnovy, útku a diagonálním směru
IS	[-]	interval spolehlivosti
Mo	[mN·cm]	ohybová tuhost na 1 cm
O	[mm]	obvod
p, q, k	[-]	konstanty určující tvar, umístění a počet vln v drapérii, [17]
R	[-]	Pearsonův korelační koeficient
S	[mm ²]	plocha
S_1	[m ²]	plocha podpěrného disku, [14]
S_2	[m ²]	plocha původního vzorku, [14]
Si	[mm ²]	plocha trojúhelníku
TF	[-]	tvarový faktor
V	[-]	faktor anizotropie ohybové tuhosti, [16]
α	[°]	ohybový úhel

V práci byl uveden velký počet uvedených vzorců a v nich obsažených symbolů. Objevují se ekvivalentní názvy podle různých autorů. Z toho důvodu jsou uvedeny jen ty nejvýznamnější. V příslušné části textu jsou všechny symboly vždy vysvětleny.

Úvod

Textilie jsou unikátní pro své vlastnosti. Mezi ty nejdůležitější patří schopnost ohybu a splývání. Charakteristické jsou svojí strukturou, nehomogeností a v řadě případů anizotropií. Jejich zkoumání je proto velmi obtížné a opírá se hlavně o empirické znalosti. Pro jejich poznání je potřeba provést řadu výzkumů zasahující do celé řady jednotlivých oborů ať už je to oblast mechaniky, fyziky, chemie či matematiky nebo oblast smyslového vnímání. Pochopení souvislostí a znalostí jednotlivých složek, které utváří charakter textilie, je důležité pro vytvoření takových materiálů, které uspokojí přesně naši potřebu a jež budou nacházet uplatnění v nových progresivních oborech.

Otevřeným celosvětovým trhem vzniká velká konkurence především v technických oborech. Je těžké udržet krok se zeměmi s levnou pracovní silou, které si nedělají velké starosti se životním prostředím a pracovními podmínkami. Výrobou jim konkurovat nelze, jak by mohla potvrdit řada textilních a oděvních podniků, ale na poli výzkumu a inovací máme co nabídnout. Mají na tom svůj podíl hlavně vysoké školy, které vychovávají nové odborníky a jež umožňují studentům už během studia přispívat k dané problematice.

Cílem diplomové práce je prozkoumat jaký má vliv anizotropie ohybové tuhosti na splývavost tkanin. Již dříve výzkumníci prokázali, že ohybová tuhost má na splývavost největší vliv. Textilie a zvláště tkaniny jsou díky své struktuře obvykle anizotropní. Nejdříve proto bude zkoumáno samotné chování textilie při ohybu v různých směrech a následně bude hledána souvislost mezi ohybovou tuhostí a utvářením profilu splývající textilie. Pokud by se prokázalo, že lze nějakým způsobem předpovědět splývavost z ohybové tuhosti, která je měřena na vzorcích malých rozměrů, výzkum v této oblasti by se posunul o krůček dál. Znamenalo by to jednak úsporu materiálu potřebného pro zkoumání splývavosti a také by mohl výsledek přispět v oblasti počítačové simulace splývání.

V této diplomové práci je nejprve představen pojem ohybová tuhost a splývavost. Dále seznámení s dosavadním výzkumem na poli ohybových vlastností textilií, jejich splývavosti a vlivem anizotropie na tyto vlastnosti od historických počátků až po současnost. Také jsou uvedeny nejběžnější metody a principy měření ohybové tuhosti a splývavosti. V experimentální části byla měřena ohybová tuhost a splývavost. Výsledky jsou nejprve analyzovány samostatně pro tuhost, kde je zaměření především

na anizotropii ohybu, a splývavost, kde je hlavním šetřením, jak se liší výsledky z opakovaného měření na jednom vzorku s výsledky z měření na více vzorcích. V další kapitole je uvedena do souvislosti ohybová tuhost a splývavost a vyhodnocen jejich vzájemný vliv vzhledem ke směrové závislosti a charakteru použitých textilií. Nakonec bylo prověřovány možnosti, zda lze a do jaké míry, predikovat splývavost zkoumaného druhu textilie metodou ohybu kruhových vzorků.

1 Tuhost v ohybu

Tuhost v ohybu je fyzikální veličinou, která vzniká v plošné textilii jako silový odpor při jejím ohýbání, vlastní vahou i působením vnější síly. Tento odpor je součtem všech třecích a soudržných sil, které vznikají při ohybu mezi vlákny a mezi přízemi ve vazných bodech. Tuhost v ohybu tkaniny je závislá na ohybové tuhosti příze a způsobu provázání příze ve tkanině. Z toho vyplývá, že tkaniny s vyšší dostavou a pleteniny s vyšší hustotou budou vykazovat vyšší hodnoty tuhosti. [1, s.87]

Definici ohybové tuhosti lze v literatuře najít v různých obměnách, např.:

Podle normy ČSN 80 0858 definice zní: „Tuhost – odolnost plošné textilie vůči ohýbání. Je to schopnost materiálu reagovat momentem vnitřních sil soudržnosti proti namáhání momentem vnějších sil způsobujících deformaci. Vyjadřuje se jako ohybový moment (M_o) v mN.cm.“ [2, s.1]

„Tuhost v ohybu je fyzikální veličina, popisující odpor textilie proti deformaci (ohýbání) vnějším zatížením. Toto vnější zatížení je vyvozováno buď osamělou silou, nebo spojitým obtížením vyvolaným plošnou měrnou hmotností.“ [3, s.50]

„Odpor textilie proti deformaci je součet všech sil třecích a soudržných. Tyto síly vznikají při ohybu mezi vlákny a mezi nitěmi ve vazných bodech. Tuhost v ohybu úzce souvisí se splývavostí textilie. Ohybovou tuhost ovlivňuje struktura vláken, konstrukce příze, konstrukce plošné textilie, úprava atd.“ [4, s.12]

„Reakce plošné textilie proti působení vnější síly v obecném směru vůči její základní rovině nebo proti působení gravitace je vyjadřována jako její tuhost v ohybu.“ [5, s.]

1.1 Normy upravující měření tuhosti v ohybu

Česká norma **ČSN 80 0858** - Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií. Norma popisuje zkoušení ohybové tuhosti a pružnosti na přístroji TH-5. Přístroj zaznamenává sílu, kterou textilie upnutá v čelisti vyvine proti ohýbání. Čelisti rotují v rozmezí $\pm 60^\circ$ a vzorek textilie má definované rozměry. Pomocí vztahů uvedených v normě se pak stanoví ohybová tuhost. [2]

Britská norma **BS 3356:1990** (Method for the determination of stiffness of cloth) Metoda pro stanovení tuhosti. Je revidovanou normou z roku 1961, v jejímž obsahu byly provedeny menší změny. Norma popisuje metodu pro stanovení délky ohybu a ohybovou tuhost textilií a netkaných textilií pomocí flexometru s pevným úhlem. Zkouška probíhá v klimatizovaném prostředí jehož ovzduší odpovídá standardnímu mírnému prostředí pro testování textilu, které je definováno v BS 1051, tj. atmosféra $65 \pm 2\%$ relativní vlhkosti a při teplotě $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Nejsou-li stanovené podmínky dodrženy, mohou se výsledky výrazně lišit. [6]

ASTM D1388 – 08 (Standard Test Method for Stiffness of Fabrics) je americká norma popisující měření ohybových vlastností textilií. Délka ohybu se měří a ohybová tuhost se vypočítává. Norma zahrnuje dvě varianty: Cantilever test a Heart Loop Test. Norma platí pro většinu materiálů o různé tloušťce, včetně vrstvených textilií, vlasových, materiálů bez i s povrchovou úpravou. Je vyhovující a hojně využívána v obchodě na přijímací zkoušky. [7]

Další americkou normou zabývající se ohybovou tuhostí látek je **D 4032 – 08** (Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure). V této normě je popsána metoda určení ohybové tuhosti pomocí kruhového otvoru. Zkouška udává hodnotu síly potřebné k protlačení vzorku otvorem kruhového tvaru. Měření tuhosti probíhá současně ve všech směrech. Tento způsob je jednoduchý na provedení a použitelný pro všechny typy textilie (pletené, tkané i netkané) s různým obsahem vlákniny. [8]

2 Splývavost

Pod pojmem splývavost se rozumí deformace textilie vlivem zemské tíže za definovaných podmínek určených podle použití textilie. Obecně je splývavost trojrozměrný jev a lze tvrdit, že součinitel splývavosti závisí na mechanických a strukturních vlastnostech textilií, na definici součinitele splývavosti a na metodách jeho měření. Jde o komplexní mechanickou vlastnost textilií a lze předpokládat její vztah k jejich ohybu, k jejich mechanickým modulům a k jejich struktuře. [9, s.66]

Definice splývavosti plošných textilií:

„Splývavost je souhrn vlastností plošné textilie jako vláčnost, poddajnost a ohebnost. Vyjadřuje se poměrem mezi plochou zkoušených vzorků a plochou průmětů vzorků k ploše mezikruží, tj. k ploše vzorků způsobilych ke splývání. Udává se v %.“ [10, s.1]

„Splývavost textilie je definována jako její schopnost vytvářet esteticky působící záhyby při zavěšení v prostoru. Tyto záhyby jsou výsledkem prostorové deformace.“ [3, s.53]

„Splývavost je definována jako schopnost plošné textilie vytvářet prostorové deformace ve tvaru záhybů zaobleného tvaru, kterých se dosáhne jejím upnutím v kruhové horizontální čelisti. Splývavé okraje a záhyby kruhového vzorku na něm charakterizují tuto prostorovou poddajnost.“ [1]

2.1 Normy upravující měření splývavosti textilií

ČSN 80 0835 Zkoušení splývavosti plošných textilií průmětem z roku 1971 je dnes již neplatná. Popisuje metodu měření splývavosti a zjišťování koeficientu splývavosti pomocí planimetrie. [10]

Britská norma **BS 5058:1973** (Method for the assessment of drape of fabric) popisuje metodu určování splývavosti textilií pomocí gravimetrie. Kruhový vzorek je

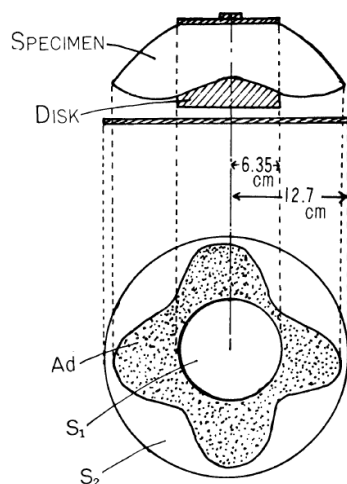
umístěn mezi dvěma prstenci, volné konce splývají a utvářejí záhyby. Stín splývajícího vzorku je obkreslen na papír. Koeficient splývavosti se vypočte z poměru váhy původního papíru a váhy papíru vystřiženého dle obrysu. [11]

Norma **IS 8357:1977** (Method for assessment of fabric drape). Metoda měření splývavosti je obdobná jako u BS 5058 s tím rozdílem, že se používá světlo-citlivý papír na nějž je stín splývající textilie zachycen. Koeficient splývavosti je vypočten z poměru plochy znázorněné stínem a původní plochy zkoumaného vzorku. [12]

3 Dosavadní výzkum měření splývavosti a anizotropie ohybové tuhosti

Na počátku hodnocení estetických vlastností textilií byla splývavost hodnocena subjektivně týmem znalců. Neustálé dohady ve výsledných hodnotách vyústily ve vývoj kvantitativní metody hodnocení splývavosti. Průkopníkem objektivního hodnocení splývavosti byl Peirce , který v roce 1930 zavedl metodu vycházející z principu vetknutého nosníku (cantilever test). Peircova metoda byla použita pro nepřímé stanovení splývavosti, kdy se chování textilního vzorku vypočítávalo z tzv. ohybové délky, která byla měřitelná. Metoda, jež Peirce vynalezl je stále široce používána mnohými badateli pro teoretické i experimentální zkoumání splývavosti. [13]

Určování splývavosti na základě dvojdimenzionálního měření ovšem přinášelo spoustu omezení v popisu komplexního anizotropního chování textilií, které by odpovídalo chování textilií v praxi. Významným krokem se tak stal vývoj přístroje pro trojdimenzionální měření F.R.L. Drapemetr, který v roce 1950 společně vyvinuli Chu, Cuming a Teixeira ve Fabric Research Laboratories. Vývojem přístroje na podobném principu se zabýval i Cusick, jež navrhl v roce 1968 přístroj pro měření splývavosti a který je dnes nazýván Cusickův drapemetr. Princip přístroje spočívá v zavěšení kruhového vzorku textilie na podpěrném disku o menším průměru než-li je průměr vzorku. Volné konce textilie splývají dolů a vytváří záhyby. Světlo umístěné kolmo nad zavěšeným vzorkem vytváří na papírovém podkladu dvojdimenzionální stínový obraz deformované látky. Pro výpočet splývavosti jsou pak používány hodnoty získané měřením tohoto obrazu. Pro stanovení splývavosti pomocí drapemetru Chu s kolegy a Cusick zavedli koeficient splývavosti DC uváděný v % (1). Z principu měření splývavosti podle Cusicka i stanoveného koeficientu splývavosti dodnes vychází mnoho výzkumníků. [14]



$$DC = \frac{A_d - S_1}{S_2 - S_1} \cdot 100 [\%], \quad (1)$$

Obr. 1 Měření koeficientu splývavosti. [14, s.68]

kde A_d je promítnutá plocha splývající textilie

S_1 je plocha podpěrného disku na němž je zavěšený vzorek textilie

S_2 plocha původního vzorku

Koeficient splývavosti může poskytovat objektivní hodnocení deformace, třebaže se nejedná o kompletní popis. Nízký koeficient splývavosti ukazuje na snadnou deformovatelnost textilie. Splývavost především úzce souvisí s tuhostí. Velmi tuhé textilie mají koeficient tuhosti blízko ke 100% a naopak textilie s minimální tuhostí mají koeficient splývavosti téměř 0%. [15]

Je známo, že ohybová a smyková tuhost souvisí se splývavostí a má značný vliv na koeficient splývavosti. Avšak existuje řada dalších mechanických vlastností, jejichž vliv na splývavost a anizotropii, potažmo výpočet koeficientu splývavosti, se snaží prokázat řada badatelů ve svých pracích.

Například Chu s kolektivem zjistili, že splývavost obecně záleží na třech základních parametrech textilie: Youngově modulu pružnosti Y , momentu setrvačnosti ve vazných bodech I a hmotnosti W . Na tomto základě pak odvodili rovnici pro koeficient splývavosti $DC=f(B/W)$, kde ohybová tuhost $B = YI$. [15]

Cusick ve své původní práci měřil koeficient splývavosti, ohybovou tuhost a smykovou tuhost (úhel smyku při němž se začíná tkanina kroutit; tkaniny s vyšší smykovou tuhostí se kroutí při menším úhlu). Další mechanické vlastnosti jako je pevnost v tahu do této práce nezahrnul. Cusick zjistil, že teoreticky stanovený koeficient splývavosti, u něž byla zanedbána ohybová tuhost, byl menší než naměřené hodnoty u

většiny testovaných látek. V pozdější práci statisticky prokázal, že splývavost textilií zahrnuje ohyb ve více než v jednom směru a že deformace závisí jak na smykové tuhosti, tak i na ohybové délce. [15]

Niwa a Seto publikovali zprávu o vztahu mezi splývavostí a mechanickými vlastnostmi. Použili mechanické parametry v kombinaci $(B/W)^{1/3}$, $(2HB/W)^{1/3}$, $(G/W)^{1/3}$ a $(2HG/W)^{1/3}$ jako nezávisle proměnné, kde B je ohybová tuhost, 2HB hystereze v ohybu, W plošná hmotnost, G smyková tuhost a 2HG smyková hystereze. Tyto kombinace parametrů odvodili z analýzy ohybu jednostranně vetknuté textilie s hysterezí v ohybu a smyku za použití teorie pružnosti. Takto získali rovnici popisující koeficient splývavosti, uváděný jako Niwa's model:

$$DC = B_o + b_1 \sqrt[3]{\frac{B}{W}} + b_2 \sqrt[3]{\frac{2HB}{W}} + b_3 \sqrt[3]{\frac{2HB}{W}} + b_4 \sqrt[3]{\frac{2HB}{W}}, \quad (2)$$

kde b_o a b_i jsou libovolné konstanty. [15]

Sudnik uvedl do vzájemného vztahu splývavost textilií s ohybovou délkou a v roce 1978 potvrdil důležitost ohybové délky v predikci splývavosti textilií. Určil, že smyková odolnost je také faktorem, ačkoli není tak významný jako ohybová tuhost. [15]

Mooroka a Niwa vytvořili rovnici k predikci splývavosti textilií za použití dat z KES systému a došli k závěru, že hmotnost textilie a ohybový modul jsou nejdůležitějšími faktory. Také uvedli, že smykový odpor není významným faktorem v chování textilií, které zkoumali. [15]

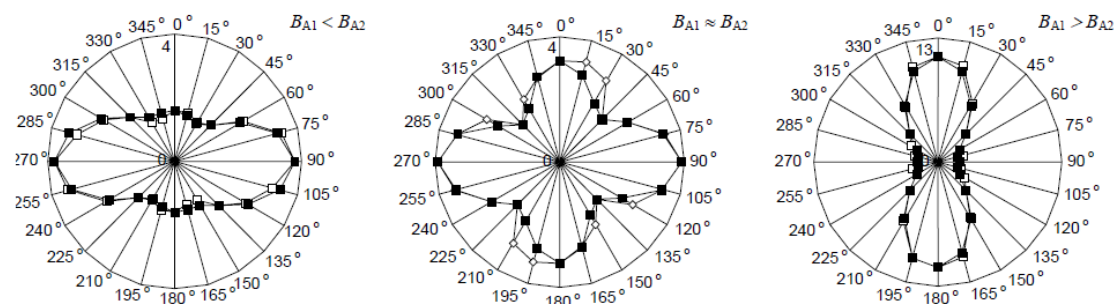
Naproti tomu výzkum, který provedl Colier a kol. ukazuje, že smykové vlastnosti jsou významnějším ukazatelem splývavosti textilií, nežli ohybové vlastnosti a smyková hystereze a že smyková hystereze více souvisí s koeficientem splývavosti. [15]

Collier ve své práci měřil šest parametrů – tuhost v ohybu, moment hystereze, tuhost ve smyku, hysterezi při úhlu smyku $0,5^\circ$, hysterezi při úhlu smyku 5° na přístroji KES a tuhost v ohybu na přístroji cantilever test. Koeficient splývavosti Collier měřil na drape testeru, který navrhl. Jeho výsledky ukazují, že materiály s menším koeficientem splývavosti mají také menší odolnost ve smyku a v tahu, dále že tuhost ve smyku je korelována s hysterezí smyku při $\phi = 5^\circ$ ($r = 0.97$, $p < 0,0001$), stejně jako s ohybovým modulem ($r = 0.96$, $p < 0.0001$) a že je vyšší korelace hystereze při úhlu smyku $\phi = 5^\circ$ s koeficientem splývavosti nežli s ostatními hodnotami smyku. Také použil

vícestupňovou regresi k analýze významu různých mechanických vlastností pro predikci koeficientu splývavosti. Jak tuhost v ohybu z KES, tak i tuhost v ohybu měřená na cantilever testu, stejně jako smyková hystereze a tloušťka, byly významnými charakteristikami ve stanovení modelu předpovídajícího koeficient splývavosti. Hystereze ve smyku a tuhost v ohybu z přístroje KES objasnili mnoho odchylek. S dalšími dvěma proměnnými jsou méně významné. Collierovým závěrem bylo, že hystereze ve smyku je mnohem důležitější, což souhlasí s výsledky jeho dřívějších prací. [15]

První, kdo se pokusili uvést do souvislosti koeficient splývavosti s celým souborem mechanických vlastností testovaných na systému KES, byli Hu a Chan na Hongkongské Polytechnické univerzitě. V jejich práci je koeficient splývavosti, naměřený na Cusickově drapemetru, závislou proměnnou a šestnáct vlastností naměřených na KES systému jsou nezávisle proměnné. Pro výpočty použili čtyři matematické modely z předchozích studií: stupňovou regresi s původními daty KES, Niwův model, logaritmus pro KES data a logaritmus pro koeficient splývavosti i pro KES data. Zjistili, že pro mechanické vlastnosti a koeficient splývavosti je přesnější metoda používající logaritmus. V jejich experimentu mělo osm parametrů značně vysoký korelační koeficient s koeficientem splývavosti (pět ohybových a smykových vlastností, plošná hmotnost, MMD (průměrná odchylka koeficientu tření) z testu drsnosti povrchu a LT ze zkoušky tahem). Bylo již známo, že ohybové a smykové vlastnosti jsou úzce spjaté s koeficientem splývavosti, ve své práci však Hu a Chan poukázali na dva další parametry, které vysoce korelují s koeficientem splývavosti a můžou být nezávislé. Jsou to LT (linearita) a především MMD. [15]

O prokázání možnosti, že lze predikovat splývavost textilií z ohybové tuhosti, se ve své práci pokusili Sidabraite a Mastekaite. Tuhost v ohybu určovali pro dvanáct různých směrů tak, aby bylo možné vytvořit polární diagramy, které představují stupeň anizotropie ohybu tkaniny, viz obr. 2.



Obr. 2 Polární diagramy ohybové tuhosti tří tkanin (□ - experimentální data, ■ - teoretická data)
[16, s.113]

Na základě výsledků analýzy ohybové tuhosti v různých směrech a polárních diagramů splývavosti ukázali, že Cooperův teoretický model, který je odvozen z výpočtu ohybové tuhosti ve všech možných směrech může být použit pro predikci splývavosti textilií. Zjistili, že úroveň anizotropie tvaru drapérie závisí na poměru B_{A1}/B_{A2} (poměr průměrné ohybové tuhosti v osnově a v útku), jenž reprezentuje úroveň anizotropie ohybové tuhosti ve dvou hlavních směrech. Avšak z Cooperova poměru V , který závisí na rozdílech mezi ohybovou tuhostí v šikmém směru B_3 a ohybovou tuhostí ve dvou hlavních směrech (osnova B_1 , útek B_2), nelze předpovědět tvar zřasené textilie.

$$V = \frac{4B_3 - (B_1 + B_2)}{B_1 + B_2} \quad (3)$$

Korelační analýza ukázala, že průměrná ohybová tuhost získaná měřením ve dvou hlavních směrech a ohybová tuhost získaná měřením ve dvanácti různých směrech jsou dobře korelovatelné s průměrným koeficientem splývavosti a průměrnou vzdáleností k okraji profilu drapérie. Takže obojí, ohybová tuhost z dvanácti směrů a ohybová tuhost ze dvou hlavních směrů, jsou dobrými predikátory profilu splývavosti a koeficientu splývavosti. [16]

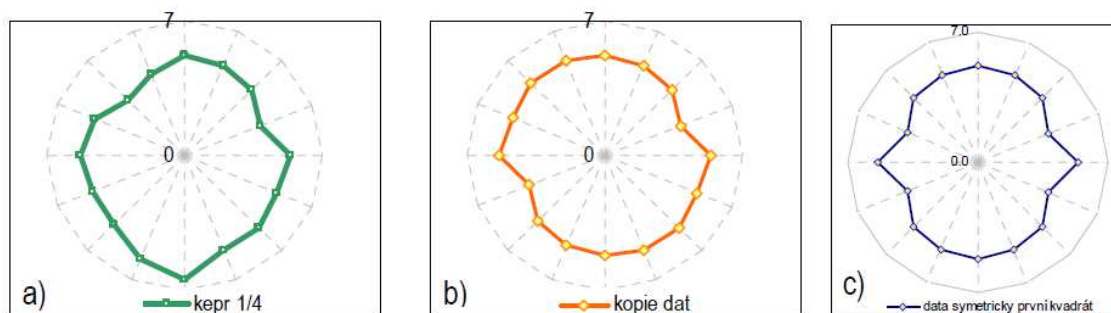
Dalšími, kdo se zabývali předikváním splývavosti textilií byli Lo, Hu a Li. Ve své práci prozkoumali obrazovou analýzou profily splývajících textilií naměřených na Cusickově drapemetru. Profil splývající textilie charakterizovali z hlediska koeficientu splývavosti, počtu, umístění a tvaru vln. Pomocí techniky polárních souřadnic stanovili konstanty pro model profilu splývající textilie, k tomu použili počítačový program napsaný v balíčku programu MATLAB. Výsledek výpočtu z jejich modelu se dobře shodoval s daty získaných experimentálně měřením třiceti-pěti tkaných textilií z hlediska koeficientu splývavosti (DC%), umístění vln a jejich počtu.

Navíc také pomocí stupňové regresní analýzy zjistili, že ohybová a smyková hystereze tkanin má silný vztah ke konstantám p , q , a k , jež určují tvar, umístění a počet vln v profilu drapérie. Na rozdíl od Sidabrait a Mastekaita ve svém experimentu ověřili, že vyššího korelačního koeficientu lze dosáhnout, pokud použijí data mechanických vlastností naměřených ve třech směrech, po osnově, útku a pod úhlem $\pm 45^\circ$. Lo, Hu a Li současně ve své práci formulovali tři rovnice pro výpočet těchto tří konstant z hlediska ohybové a smykové hystereze. Dosazením experimentálně získaných hodnot ohybové a smykové hystereze do rovnic mohou být konstanty p , q a k vypočteny automaticky společně s profilem splývavosti. Ve své práci došli k závěru, že profil splývavé textilie může být předikován přímo z ohybové a smykové tuhosti v různých směrech, jelikož se predikovaný DC% a experimentálně získaný DC% zkoumaných textilií dobře shodují. [17]

Na anizotropní chování tkanin ve své práci narazili také Mizutani s kolegy. Cílem jejich experimentu bylo analyzování mechanismu splývavosti. K tomu vyvinuli nový přístroj s jehož pomocí mohli zaznamenávat jednotlivé fáze formování drapérie. Ze získaných obrazů zjistili, že některé tkaniny mají tendenci tvořit vlny v diagonálních směrech. Byli si vědomi, že tkané textilie vykazují po stránce mechanických vlastností anizotropní chování. Proto pro bližší prozkoumání generování vln naměřili úhlovou závislost ohybových vlastností, ohybovou tuhost a zotavení tkanin ve směru osnovy (0°), útku (90°) a v obou diagonálních směrech (45° a 135°). Obě hodnoty byly menší v diagonálních směrech nežli hodnoty ve směru osnovy a útku. Vyvodili závěr, že právě to může být důvodem, proč mají záhyby tendenci se utvářet právě ve směru diagonálních os. [18]

Problematikou ohybu a anizotropního chování textilií se na FT TUL zabývá L. Fridrichová. Ve své habilitační práci zkoumala vzorky textilií v plátňové a keprové vazbě na přístroji TH-7, na jehož vzniku se podílela. Přístroj TH-7 vychází ze staršího typu TH-5, jeho inovací bylo umožněno zkoumání kruhových vzorků a díky tomu může být měření ohybové tuhosti provedeno v různých směrech na tomtéž vzorku. V práci byl zkoumán vliv parametrů tkaniny na ohybovou tuhost. Zpracovaná data byla zobrazena polárními diagramy. Autorka mimo jiné srovnává výsledky svého výzkumu s výše uvedenou prací Sidebraita. Sidebraite měřil tuhost pouze na jedné polovině vzorků a do polárních diagramů druhou část zkopíroval. L. Fridrichová poukazuje na nevhodnost kopírování na základě symetrie, důvodem je nehomogenost textilního materiálu. Na obr. 3 lze vidět, jak se obrazec mění pokud je a) zaneseno všech 16

naměřených hodnot, b) 8 naměřeno a 8 překopírováno a c) 4 naměřeny a zbytek zkopírován. [19]



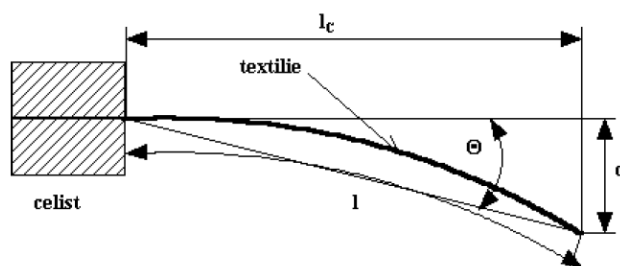
Obr. 3 Změna obrazce způsobená kopírováním hodnot [19, s.54]

4 Metody měření tuhosti v ohybu

Tuhost v ohybu byla od počátku zkoumána nejprve na vzorcích textilií ve tvaru proužku. To umožňovalo měření pouze v jednom směru. Je-li předmětem zkoumání anizotropní chování textilií je zapotřebí provést měření ohybu v různých směrech textilie. Experiment s pravoúhlými vzorky vyžaduje zdlouhavou přípravu, protože každý vzorek musí být vystřižen zvlášť pod určitým úhlem. Začaly se proto používat vzorky čtvercového tvaru, který umožňuje měřit ohybovou tuhost ve směru osnovy i útku na tomtéž vzorku. Výrazným pokrokem pak bylo zavedení kruhových vzorků, které umožňují měření pod jakýmkoli úhlem. Tyto hodnoty lze použít pro zkoumání vlivu ohybových vlastností textilií na jejich splývavost. Dále je uvedeno a popsáno několik nejběžnějších metod zjišťování tuhosti ohybu textilií.

4.1 Metody podle Sommera

Sommerova metoda vychází z ohybu jednostranně vetknutého nosníku, kterým je v tomto případě proužek textilie o plošné hmotnosti ρ_s [kg.m⁻²]. Proužek textilie má délku l [m], pod vlastní tíhou se ohýbá a tak vytváří úhel sevření Θ [°] s původním horizontálním směrem, jak je znázorněno na obr. 4.



Obr. 4 Metoda měření tuhosti v ohybu podle Sommera [3, s.51]

Z délky vzorku l a úhlu Θ se vypočítá ohybová délka c . Tuhost v ohybu T je dána vztahem:

$$T_{OS} = \rho_s \cdot c^3 [\text{kg} \cdot \text{m}], \quad (4)$$

kde T_{OS} je tuhost v ohybu podle Sommera [$\text{kg} \cdot \text{m}$]

ρ_s je plošná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]

c je ohybová délka [m] daná vztahem

$$c = l \cdot \left(\frac{\cos 0,5\Theta}{8 \cdot \text{tg}\Theta} \right)^{1/3} [\text{m}] \quad (5)$$

Θ je úhel, která svírá spojnice počátku a konce vetknuté textilie s horizontálním směrem [m]

Modifikovaná Sommerova metoda spočívá v přepočtu plošné hmotnosti proužku textilie na jeho délkovou měrnou tíhu. Délková měrná tíha γ a tuhost v ohybu T_{OG} se vypočítají dle vztahů:

$$\gamma_1 = \frac{G}{l} = \rho_1 \cdot g [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}], \quad (6)$$

$$T_{OG} = \rho_s \cdot b \cdot g \cdot c^3 [\text{Nm}^2], \quad (7)$$

kde γ_1 je délková měrná tíha proužku textilie [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]¹⁸

G je tíha proužku [N]

l je délka proužku textilie [m]

ρ_1 je délková měrná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$], $\rho_1 = \rho_s \cdot b$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$] (8)

b je šířka proužku textilie [m]

g je gravitační zrychlení ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ – přibližná hodnota) [3]

4.2 Metoda podle ASTM (cantilever test)

Americká norma ASTM D1388 (Standard Test Method for Stiffness of Fabric) popisuje měření ohybových vlastností textilií. Platí pro většinu materiálů o různé tloušťce, včetně vrstvených textilií, vlasových, materiálů bez i s povrchovou úpravou. Stanovení ohybových vlastností textilních materiálů podle této normy je vyhovující a hojně využívané v obchodě na přijímací zkoušky. Norma popisuje dvě metody: Cantilever test a Heart Loop Test. [7]

Heart Loop Test je vhodný pro materiály, které mají tendenci se kroutit a stáčet. Při měření touto metodou je pruh textilie ohnut do tvaru smyčky připomínající srdce a je svisle zavěšen do vertikálních čelistí (obr 5). [7]



Obr. 5 Heart loop test [1, s.90]

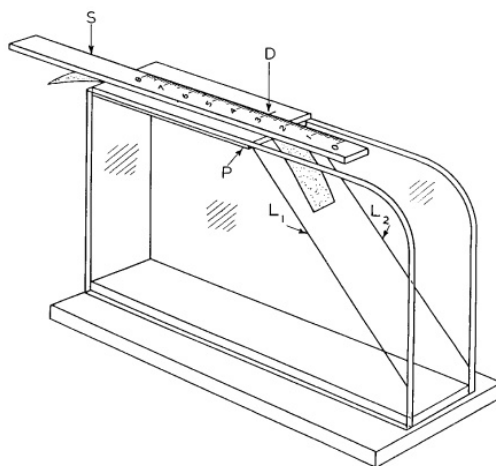
Cantilever test vycházející ze Sommerovy metody využívá princip vetknutého nosníku s jedním koncem vetknutým a druhým volným, při němž se tkanina ohýbá vlastní vahou. Tento postup se používá přednostně, jelikož je jednodušší na provedení. Není však vhodný pro látky s vysokou splývavostí nebo látky které mají sklon ke kroucení či stáčení okrajů. Tuhost v ohybu se vypočte podle vztahu:

$$T_{oc} = \rho_s \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^3 [kg.m], \quad (9)$$

kde T_{oc} je tuhost v ohybu [kg.m]
 ρ_s plošná hmotnost textilie [kg.m⁻²]
 l vysunutá délka proužku [m]

Popis metody:

Proužek textilie upnutý horizontálně v horní části se vysouvá nad šikmou plochu, která je skloněna pod úhlem 41,5°. Vysouvání probíhá do doby, než se okraj proužku dotkne nakloněné roviny. Na stupnici, jíž prve vzorek překrýval, se odečte vysunutá délka proužku l . [3]



Obr. 6 Flexometr – přístroj pro měření tuhosti v ohybu převisem. [7]

4.3 Metoda převisem

Metoda převisem se používá na katedře KHT a funguje na podobném principu jako Sommerova metoda vetknutého nosníku. Oproti předchozí metodě lze ale pracovat se vzorky čtvercovými i kruhovými, čímž je možné změřit ohybovou tuhost v různých směrech na jednom vzorku. To usnadňuje práci při zjišťování anizotropního chování ohybových vlastností textilií.

Popis zařízení:

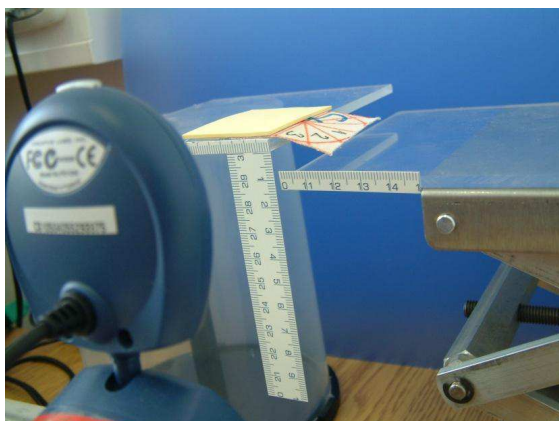
Měření se provádí na prototypu přístroje, na jehož konstrukci se podílela L. Fridrichová. Jedná se o jednoduché a cenově poměrně nenákladné zařízení. Zařízení je sestaveno ze tří stolků

- nepohyblivého, jenž drží vzorek textilie a na jehož podpěře je umístěno měřidlo s milimetrovou stupnicí pro měření hloubky převisu
- pohyblivého po vertikální ose s měřidlem pro měření délky převisu
- stolku pro web kameru, která je propojena s počítačem pro okamžité ukládání pořízených snímků.

Princip měření:

Na začátku jsou oba stolky (pohyblivý a nepohyblivý) v jedné rovině. Po umístění vzorku, tak aby každá polovina vzorku ležela na jednom stole, se spustí kamera, která zachytí snímek po 10 vteřinách od spuštění. Během této doby musí být

snížen posuvný stolek tak, aby byl umožněn ohyb vzorku. Kamera zachytí z profilu prohnutý vzorek a uloží do předem připraveného adresáře v počítači. Postup se provádí na čtvercovém vzorku z každé strany, přičemž se dodržuje otáčení vzorku o 90° po směru hodinových ručiček. Kruhové vzorky dovolují provést měření ve více směrech. Záleží na experimentátorovi z kolika směrů chce ohybovou tuhost získat. Ohybový úhel je ze zachycených snímků naměřen v programu NisElements. [20]



Obr. 7 Sestava tří stolků s webkamerou [20,s. 25]

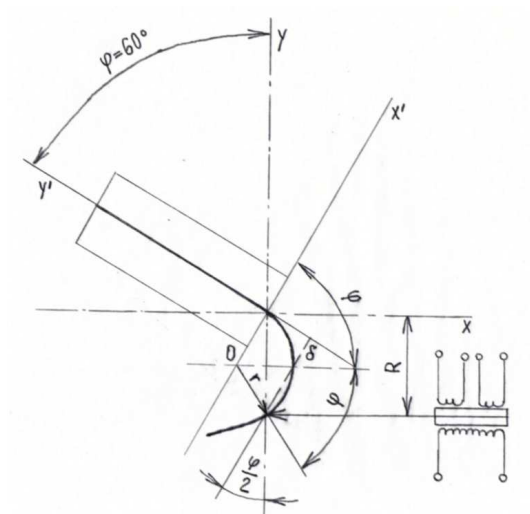
4.4 Měření ohybové tuhosti podle ČSN 80 0858

Princip metody zjišťování ohybové tuhosti podle ČSN 80 0858 spočívá v měření síly odporu textilie proti ohýbání. Norma popisuje postup měření na přístroji TH-5, jenž je československým patentem. Na přístroji TH-5 jsou měřeny proužky textilie, přesně stanovené délky a šířky. Vzorek se upíná do čelistí, která se při měření natáčí o 60°. Tím se proužek textilie ohýbá a volným koncem tlačí na čidlo, které registruje působící sílu.

V normě je postup měření popsán následovně:

„Při měření tuhosti se klimatizovaný pracovní vzorek vloží do čelisti zkušebního přístroje pomocí pinzety tak, aby se horní okraj vzorku kryl s horním okrajem čelisti. Vzorek je obrácen k čidlu hranou, která se má měřit. Vkládáním vzorku do čelistí nesmí dojít k jeho deformaci. Přístroj se uvede do činnosti spínačem, sleduje se ukazatel na

stupnici s přesností na 0,5 dílků. Po odečtení se vypnutím spínače vrátí čelist do výchozí polohy“. [2, s. 3]



Obr. 8 Schéma funkční části tuhoměru, [2, s.4]

kde R je vzdálenost čelisti od čidla,
 r poloměr křivosti,
 O střed křivosti deformovaného vzorku,
 δ deformace volného konce vzorku při konečné výchylce vzorku a
 φ výchylka čelisti od osy y

Norma uvádí tuto definici ohybové tuhosti: „Tuhost – odolnost plošné textilie vůči ohýbání. Je to schopnost materiálu reagovat momentem vnitřních sil soudržnosti proti namáhání momentem vnějších sil způsobujících deformaci. Vyjadřuje se jako ohybový moment (M_o) v mN.cm.“ Výpočet tuhosti v ohybu se pak vypočte takto:

$$M_o = F_1 \cdot K, \quad (10)$$

kde K je konstanta vypočtená ze vztahu $K = l/b$ (11)

M_o ohybový moment v mN.cm pro šířku vzorku 1cm

F_1 hodnota síly vyjádřená v N, odečtená v příslušné tabulce pro použitou pružinu z aritmetického průměru 5 měření, vyjádřených hodnotami dílků stupnice, zvlášť po rubu a po lici a zvlášť pro směr podélný (osnovu) a příčný (útek)

l délka měřeného vzorku při výchylce 60° od hrany čelisti k čidlu zkušebníhopřístroje $l=1,51$ cm

b pracovní šířka vzorku, pro předepsanou šířku 2,5 cm $K=0,604$ [2]

Nedostatky přístroje TH-5:

- přístroj nebyl přímo propojený s počítačem. Data, která se zobrazovala na displeji, se musela opisovat ručně. Práce tak byla zdlouhavá a navíc zde bylo riziko chybného přepisu dat z displeje.
- Čelisti se ohýbaly pouze jedním směrem, vzorky se tak pro měření z lící i rubové strany textilie musely vkládat do přístroje zvlášť, což opět prodlužovalo čas měření.
- maximální ohyb čelistí byl 60°
- výsledkem byla pouze konečná hodnota ohybové tuhosti (ohybové síly), nebyl zaznamenán průběh zatěžování
- chtěl-li experimentátor měřit tuhost v ohybu na textilií v různých směrech, např. po osnově a po útku, musel si vždy připravit vzorek zvlášť. Zkušební vzorek ve tvaru obdélníku (2,5 x 5cm) umožňoval měření pouze jedním směrem.

Tyto nedostatky znesnadňovali práci experimentátorům po stránce uživatelské i časové. S nimi se ve své práci setkala i L. Fridrichová, která navrhla řešení v podobě přístroje TH-7, které z předchozího typu vychází. [19]

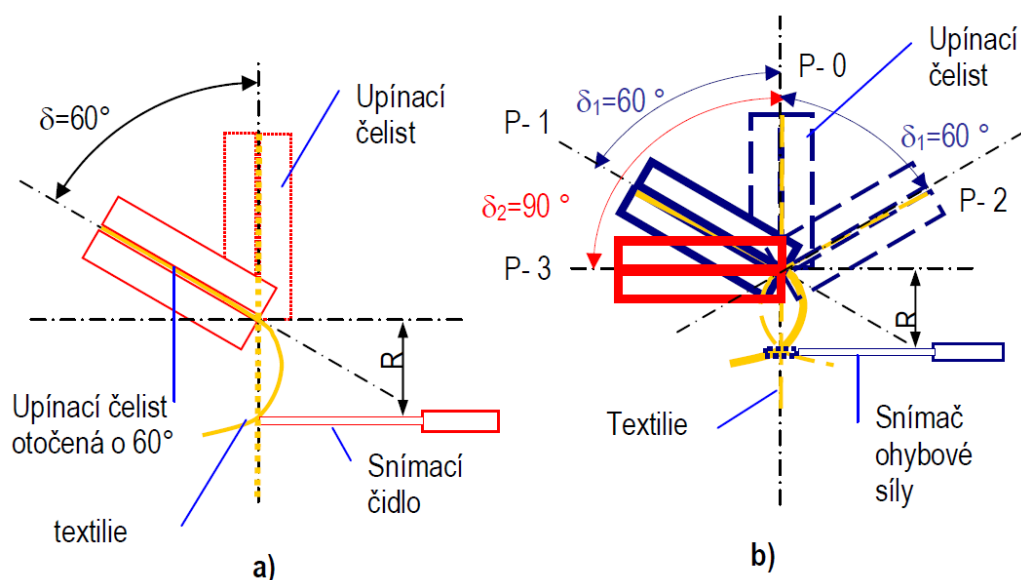
4.5 Přístroj TH-7

Princip přístroje TH-7 vychází z výše popsaného přístroje TH-5. Přístroj umožňuje rychlejší a přesnější měření, nežli jeho předchůdce. Navíc usnadňuje měření ohybové tuhosti textilií v různých směrech a tím i zkoumání anizotropního chování textilií.

Výhody inovovaného přístroje TH-7:

- Jednou z výhod je přímé propojení s počítačem a tím umožněno ukládání dat do programu MS Excel. Oproti předchozímu typu tohoto přístroje tak odpadá možnost vzniku chyb při ručním zápisu dat a zrychlení práce.
- TH-7 zároveň umožňuje provést ohýbání zkoumané textilie v cyklech a na obě strany až o 90° - tím je umožněno zaznamenávání celého průběhu zkoušky, vzorek je možné zkoušet jak z rubní tak z lící strany zároveň a poskytuje tak i záznam hysterezí smyčky.

Princip měření na přístroji je obdobný jako u přístroje TH-5. Ale narušil od TH-5, který umožňoval otočení čelistí pouze jedním směrem a jen o 60° , vylepšený přístroj TH-7 umožňuje nastavit 4 varianty otočení čelisti, viz. obr. V pozici P0 se nachází čelist a vzorek ve svislé poloze. V pozici P2 je čelist se vzorkem otočena do polohy 60° , v pozici P3 je čelist otočena do polohy 90° . Z důvodu, že se čelist otáčí do obou směrů, bylo snímací čidlo navrženo ve tvaru písmene U.



Obr. 9 Schéma přístroje a) TH-5, b) TH-7 [19, s.32]

Kromě těchto úprav čelistí, se také zvětšila šířka čelistí a čidla, což umožnilo proměřovat čtvercové vzorky o velikosti $4,5 \times 4,5$ cm a tím možnost zkoumání ohybové tuhosti po směru i útku na tomtéž vzorku. Navíc tato úprava dovoluje zkoušení vzorků kruhového tvaru, což má význam hlavně při zkoumání anizotropie ohybové tuhosti textilií.

I přes veškerou snahu autorky a odborníků, kteří přístroj konstruovali a vytvářeli řídicí software, nebylo možné některé nedostatky odstranit. Například ramena snímacího čidla ve tvaru U není možné upravovat podle tloušťky textilie, což má vliv na průběh ohybové zkoušky (hodnoty ohybové síly) v rozmezí 0° až 10° . Také cyklus ohýbání vzorku není dokončen v otáčení čelisti a záznam ohybové zkoušky je nerovnoměrný. K tomu by však bylo zapotřebí provést úpravy v softwaru. [19]

4.6 KES – Kawabata Evaluation Systém

Systém KES (Kawabata Evaluation systém) byl vyvinut S. Kawabatou pro nedestruktivní hodnocení mechanických vlastností textilií. Sestává ze čtyř oddělitelných mechanicko-počítačových systémů, modulů, značených KES FB1, 2, 3, 4. Každý z nich je určen pro měření jiné veličiny:

- modul FB1 je určen pro měření tahu a smyku
- modul FB2 pro měření ohybové tuhosti
- modul FB3 pro měření stlačení a tloušťky
- modul FB4 pro měření tření a profilu povrchu



KES FB1



KES FB2



KES FB3



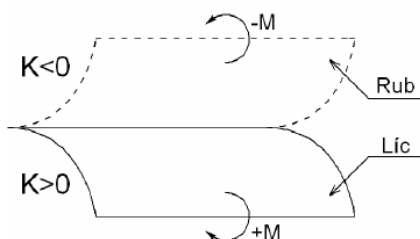
KES FB4

Obr. 10 Moduly přístroje KES [21, s.18]

Všechny čtyři moduly jsou vybaveny počítači k vyhodnocování výsledků měření. Celkem je pomocí sestavy KES zjišťováno 16 charakteristik mechanických vlastností textilií. I když byly sestava původně určena pro hodnocení omaku, jsou jednotlivé moduly užívány i pro hodnocení mechanických vlastností textilií (např. tuhost ohybu, tuhost ve smyku). Přestože jde o mechanicky velmi přesný a dokonalý přístroj vhodný pro měření mechanických charakteristik textilií jeho nevýhodou je omezená použitelnost na textilie o vyšší plošné hmotnosti. Je vhodný pouze pro lehké textilie do určité tloušťky. [22]

Měření ohybové tuhosti na přístroji KES FB2:

Přístroj je vybaven dvěma čelistmi od sebe vzdálenými 10 mm, mezi něž se vkládá vzorek. Pro správné uložení vzorku je přístroj opatřen optickými čidly, které upozorní na případné nesprávné uložení vzorku. Poté, co je přístroj spuštěn, je vzorek uchycený mezi čelistmi ohýbán do určitého zakřivení K , maximálně $\pm 2,5 \text{ cm}^{-1}$. Ohybová rychlost je $0,5 \text{ cm}^{-1}/\text{s}$. Ohybové vlastnosti jsou proměřovány ve směru útku a osnovy po lícni i rubové straně, viz. obr. 11.

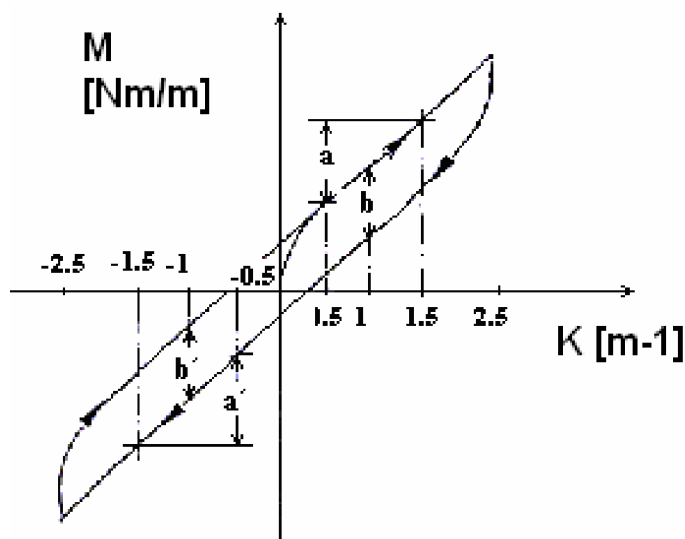


Obr. 11 Ohyb textilie na KES FB2 [23, s.27]

Díky přímému propojení s počítačem jsou data ihned ukládána do PC a celé měření jednoho vzorku je rychlé a přesné. Naměřenými hodnotami ohybová tuhost B [Nm^2/m] a hystereze ohybového momentu $2HB$ [Nm/m] jsou dány vztahy (12,13). [23]

$$B = (a + a) / 2 \quad (12)$$

$$2HB = (b + b) / 2 \quad (13)$$



Obr. 12 Namáhání v ohybu, kde K je zakřivení dané vztahem $K=1/R$ a platí $K = \pm 2,5 \text{ cm}^{-1}$, M je moment v ohybu [Nm/m]. [23, s.27]

5 Metody měření splývavosti

Na splývavost textilií má vliv řada faktorů. Z mechanických vlastností je to například tuhost v ohybu nebo tuhost ve smyku. Z parametrů struktury textilie je to především hustota provázání ve tkanině, vazba, tloušťka textilie, tvar vláken apod. Hodnocení splývavosti je tedy nesnadným úkolem. Zprvu byla splývavost zkoumána pouze z poměru ploch, později začali výzkumníci do hodnocení zahrnovat další faktory. Velký pokrok přinesla počítačová technika, která měření zpřesnila, zrychlila a otevřela další možnosti ve studii chování textilií. Níže jsou uvedeny nejběžnější metody zjišťování splývavosti.

5.1 Měření splývavosti podle Cusicka

Cusickův drapemeter, vyvinutý v šedesátých letech minulého století, je široce používaným nástrojem pro měření splývavosti textilií v textilním a oděvním průmyslu a z jeho principu vychází řada dalších výzkumů. Pro výpočet koeficientu splývavosti DC, zavedl Cusick novou, jednoduchou metodu určování splývavosti vážením.

Princip metody:

Kruhový vzorek textilie o průměru 36 cm je horizontálně umístěn na pevném kruhovém podstavci o průměru 18 cm. Okraje textilního vzorku, které nejsou podepřeny, volně splývají vlastní vahou a formují se do záhybů. Vertikálně je promítán stín zřasené textilie na papír umístěný na horní desce drapemeteru. Obrys stínu je obkreslen na papír, jež je ve tvaru kruhu. Papírový kruh je zvážen a tím je získána hodnota W_1 . Poté se z papíru vystříhne tvar podle zakresleného obrysu a výstřížek se zváží, získá se hodnota W_2 . Koeficient splývavosti DC je vyjádřen:

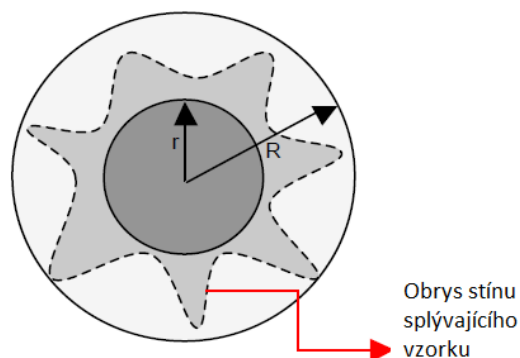
$$DC = \frac{W_2}{W_1} \cdot 100 [\%], \quad (15)$$

kde W_1 je váha původního papírového vzorku

W_2 je váha vystříženého papírového vzorku [13]



a)



b)

Obr. 13 a) Cusickův drapemeter, b) uspořádání při měření na drapemeteru [13, str 3]

5.2 Měření splývavosti podle ČSN 80 0835

Podle dnes již neplatné normy ČSN 80 0835 Zkoušení splývavosti plošných textilií průmětem z roku 1971 se na kruhový stojan o průměru 180 mm umístí vzorek plošné textilie o průměru 300 mm. Přes průsvitnou desku se promítne 2D obraz splývající plošné textilie, který se zakreslí na průsvitný papír. Pomocí planimetrie se získá plocha průmětu, z které se pak vypočítá koeficient splývavosti v %. Pro přesnější určení se zkoumají dva vzorky a obrys se zakresluje oběma směry, tj. zprava doleva a zleva doprava. Tak se získá průměrná plocha ze čtyř vzorků.

Koeficient splývavosti x se vypočítá podle vzorce:

$$x = \frac{S = \bar{S}_p}{S_m} \cdot 100 [\%], \quad (16)$$

kde S je plocha zkoušené textilie

\bar{S}_p je průměrná plocha průmětů

S_m je plocha mezikruží, tj. plocha vzorků způsobila ke splývání

Nedostatky ČSN:

- v normě chybí detailnější popis, případně schéma doporučeného zařízení
- vzhledem k manuálnímu zakreslení obrysů a určování plochy průmětů planimetrováním je výsledek významně ovlivněn lidským faktorem a mohou tak vznikat chyby

- lidský faktor také hraje roli při umísťování vzorků na stojan, rychlost a způsob položení vzorku ovlivňuje tvar drapérie
- norma vyjadřuje splývavost koeficientem splývavosti, ten však nepodává úplný popis o splývavém chování textilie, nejsou v něm zahrnuty aspekty jako je počet, tvar a rozložení vln
- splývavost je měřena dvojdimenzionálně, chybí třetí rozměr
- splývavost x je definována jinak než koeficient splývavosti uznávaný ve světě. Vztah mezi koeficientem splývavosti DC a splývavostí určenou podle ČSN označenou x je $x=100-DC$ [%]

[10]

5.3 Měření splývavosti pomocí přístroje F.R.L. Drapemeter

Přístroj Fabric Research Laboratories byl vyvinut, aby bylo možno měřit splývavost ve všech třech směrech. Stejně jako u ČSN 80 0835 vychází metoda stanovení koeficientu splývavosti ze změny plochy kruhového vzorku upnutého v kruhové čelisti. Volné okraje vzorku volně splývají vlivem vlastní tíže a gravitace. Splývající vzorek se promítne do roviny kruhové čelisti a plocha tohoto průmětu se porovnává s plochou původního vzorku. Koeficient splývavosti se vypočítá podle vztahu:

$$DC = \frac{S - \pi \cdot r^2}{\pi \cdot R_1^2 - \pi \cdot r^2} * 100 [\%], \quad (17)$$

kde R je poloměr původního vzorku

r je poloměr podpěrné čelisti

S je plocha průmětu (stínu) splývající textilie

Princip měření na F.R.L.Drapemeteru:

Přístroj se skládá ze sférického dutého zrcadla, bodového zdroje světla, který je umístěn tak, aby vznikl rovnoběžný světelný svazek, ze dvou kruhových čelistí stejného průměru, mezi něž se upíná vzorek, z průhledného prstencového podstavce a skleněné desky. Vzorek se upevní mezi čelisti v poloze, kdy je dolní čelist v rovině s podstavcem. Poté se čelisti zdvihnou do horní polohy a utvoří se tak samovolně záhyby. Stín vzorku se promítne skrz průhledný prstencový podstavec Drapemeteru a

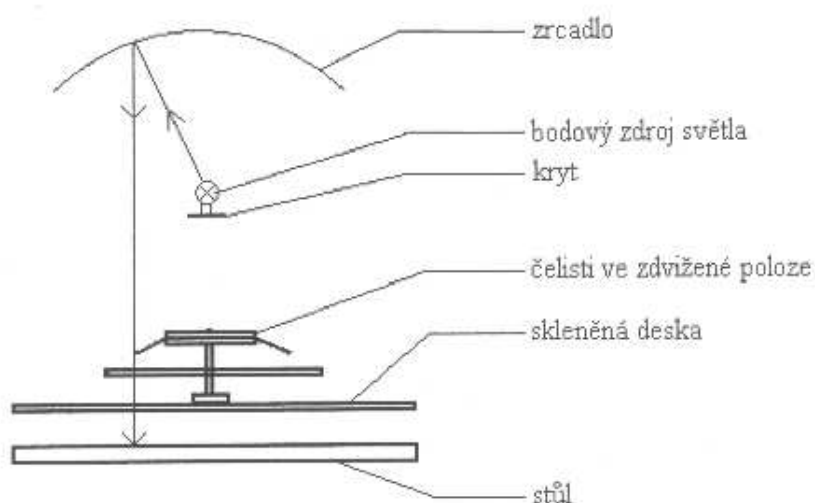
skleněnou desku až na horizontální stůl pod skleněnou deskou. Obrys stínu se pak obkreslí manuálně a plocha průřezu zjistí planimetrováním. [24, s.17]

Obvykle jsou používány vzorky plošné textilie o průměru 300 mm a rozměr čelistí o průměru 180 mm. Lze se ale setkat i s průměry vzorku 25,4 mm a průměrem čelistí 12,7 mm, které ve svém výzkumu použili se svými kolegy Mizutani [18] a Morooka [14].

Hu a Chan a ve své studii [15] uvedli možnost použití třech velikostí poloměrů u zkoumaných vzorků. Pro velmi splývavé látky, které mají koeficient splývavosti menší než 30%, poloměr 12 cm, pro středně splývavé látky poloměr 15 cm a pro velmi tuhé látky, které mají koeficient splývavosti nad 85% poloměr 18 cm. Podle Cusicka je kombinace poloměru vzorku 15 cm a poloměru podpěrného disku 9 cm vhodná pro širokou škálu oděvních tkanin. Aby bylo možno porovnávat jednotlivé tkaniny mezi sebou zvolili Hu a Chan ve svém experimentu vzorky o velikosti 15 cm v průměru pro všechny tři typy tkanin.

Nevýhody metody:

- manuální obkreslování stínu a použití planimetrie pro určení plochy
- koeficient splývavosti DC nepopisuje celkové chování splývavosti plošné textilie, nezohledňuje počet, tvar a rozložení vln
-



Obr. 14 Schéma přístroje F.R.L. Drapemeter [24, s.16]

5.4 I.T.F. Drapemeter

Tato metoda byla vyvinuta pletářským střediskem při francouzském textilním institutu v Troyes (Institut Textile de France). Metoda využívá přímého měření vzorku, takže na rozdíl od předchozích nepracuje s projekcí zkoušeného vzorku. Koeficient splývavosti F se vypočítá dle vztahu:

$$F = \frac{S_c - S_j}{S_t - S_j} = \frac{\bar{d}^2 - d_j^2}{d_t^2 - d_j^2} \cdot 100[\%] \quad (18)$$

Kde \bar{d} je střední průměr z naměřených průměrů [mm]

S_c plocha vypočítaná ze středního průměru \bar{d} [mm²]

S_j plocha přítlačného disku [mm²]

d_j průměr přítlačného disku [mm²]

S_t plocha měřeného disku [mm²]

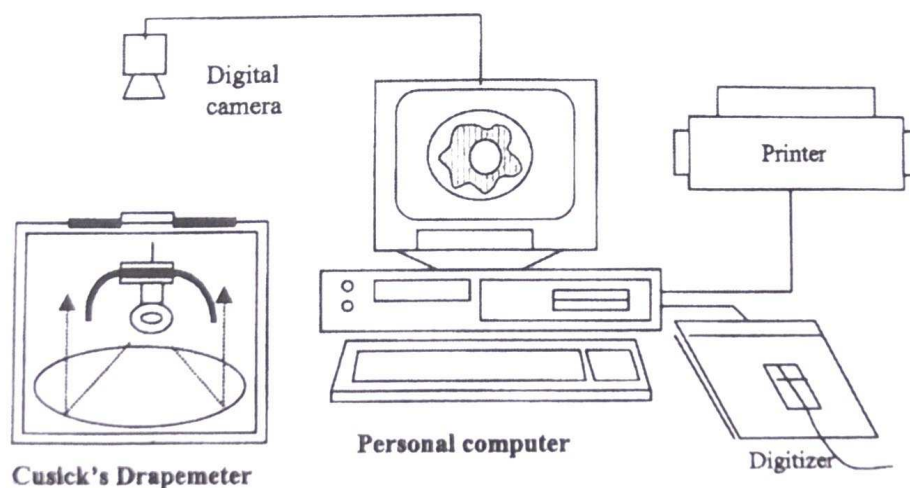
D_t průměr měřeného disku

[25]

5.5 Zjišťování splývavosti pomocí obrazové analýzy

V předchozích metodách je vysoké riziko vzniku chyb právě kvůli značnému zahrnutí lidského faktoru. S příchodem digitalizace obrazu vznikly nové možnosti, jak toto riziko eliminovat, práci experimentátorů zpřesnit a zrychlit. Zpracování obrazu pomocí počítače navíc umožňuje sledovat více parametrů. Do té doby byla sledována pouze plocha průmětu splývajícího vzorku textilie a z ní stanoven koeficient splývavosti. Obrazová analýza umožnila sledování tvaru drapérie, počet, rozmístění a hloubku vln.

Metody, u nichž si výzkumníci pomáhají digitalizací obrazu, obvykle vychází z již existujících přístrojů pro měření splývavosti, nejčastěji na principu Cusickova drapemeteru. Drapemeter doplní o fotoaparát či kameru, čím získají digitální obraz. Ten přenesou do počítače a pomocí vhodných softwarových programů jej upraví a zjistí plochu, viz schéma na obr. 15.

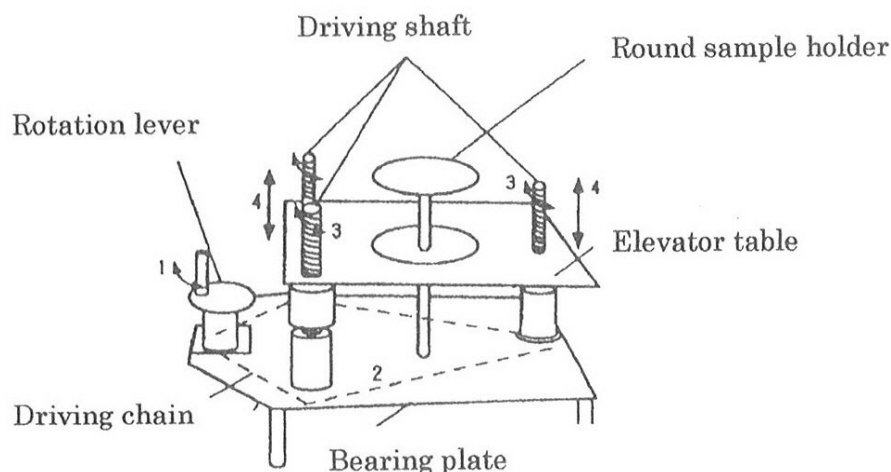


Obr. 15 Systém zařízení pro měření splývavosti pomocí analýzy obrazu. [17, s.455]

Tímto způsobem provedli svůj experiment například Lo, Hu a Li [17]. Ve své práci použili digitální fotoaparát připojený k počítači pro zachycení dvojdimenzionálního obrazu splývající textilie přímo z cusickova drapemeteru. Na obrazovce počítače pak z tohoto obrazu mohli pozorovat počet a umístění vln a detailní tvar drapérie. Dále použili počítačový program pro obrazovou analýzu Lecia QWin, který automaticky vypočetl koeficient splývavosti přímo ze zachyceného obrazu.

Obdobně doplnili ve své práci klasický drapemeter o digitální fotoaparát i Sidabraitė a Mastekaitė [16]. Ale pro další práci s obrazem použili software AutoCad 2000, v němž změřili plochu profilu splývající textilie a koeficient splývavosti následně vypočetly.

Trochu jiným způsobem zaznamenali splývavost textilie Muzutani s kolegy [18]. Pro svůj experiment vyvinuly nové zařízení nazvané „drape elevator“, viz obr. 16, díky němuž mohli hodnotit vlastnosti splývání průběžně během celého procesu utváření drapérie. Zařízení obsahovalo stůl, který se pohyboval po vertikální ose a v jeho středu byl nepohyblivý kruhový držák vzorku. Na začátku, kdy se umístil zkoumaný vzorek textilie, byly obě plochy v rovině. Jakmile se začal stůl pohybovat směrem dolů volné konce vzorku textilie se začaly svěšovat a utvářet záhyby vlastní vahou. Průběh celého procesu zaznamenával digitální fotoaparát umístěný těsně nad přístrojem a tím se zaznamenala každá fáze utváření drapérie.

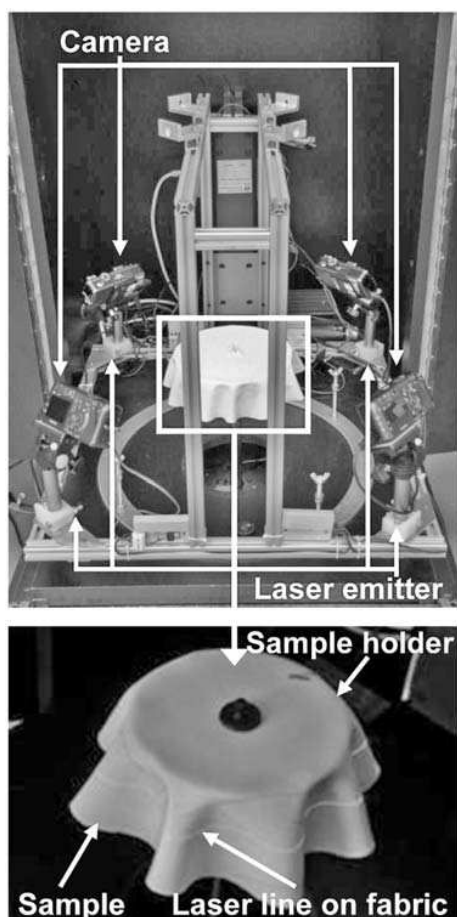


Obr. 16 Konstrukce zařízení „drape elevator“. [18, s. 82]

Zcela odlišně přistoupili k měření splývavosti ve své práci Halász s kolegy. Ve svém experimentu měřili splývavost na přístroji Sylvie 3D Draper testeru vyvinutém na Budapešťské Univerzitě Technologií a Ekonomiky. Jedná se o počítačem řízené vybavení založené na 3D skeneru. Program v podstatě rekonstruuje měřený povrch z naměřených dat a vytváří simulaci splývající textilie trojrozměrným obrazem, na který lze nahlížet z několika stran. Naměřená data také automaticky zpracuje a použije je pro výpočet běžných hodnot. Systém je podrobněji přestaven v kapitole 5.6. [26]

5.6 Měření splývavosti na přístroji Sylvie 3D Drape Tester

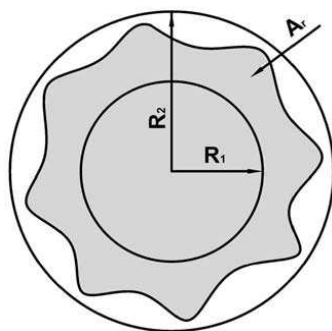
Přístroj Sylvie three-dimensional (3D) Drape Tester (Obr.) byl vyvinut na Budapešťské Univerzitě Technologií a Ekonomiky pro měření splývavosti pomocí trojrozměrného scanneru. Pomocí čtyř kamer je snímán vzorek zavěšené textilie v různých výškách. Kamery jsou přichyceny napevno a snímají body tvořené laserovými paprsky. Pomocí softwaru jsou zpracovány nasnímané body a účelně využity pro trojrozměrnou simulaci. Takto vzniklý 3D obraz lze v počítači otáčet v několika směrech. Program Sylvie Cat systém vypočítá koeficient splývavosti DC (%), počet vln (PC) a minimální a maximální radius (mm), který se používá pro výpočet činitele nerovnoměrnosti DU. [26]



Obr. 17 Sylvie three-dimensional (3D) Drape Tester. [26, s. 4]

Princip měření:

Plošina Sylvie 3D Drape Testru je v počátečním stavu na úrovni základní desky. Průměr plošiny je 180 mm. Průměr textilního vzorku je 300 mm. Během testu musí být střed vzorku nastaven přesně na středu plošiny a směr osnovy a útku musí být v určitém směru. Zdvih plošiny je řízen počítačem, tím je zajištěno, že splývavost je vždy zkoumána při stejné rychlosti a při stejném dynamického efektu. Během měření jsou čtyřmi laserovými zářiči promítány laserové linky na textilní vzorek, aby se určila místa křížení, a čtyři fotoaparáty tyto linky zaznamenávají. Fotoaparát a laserové zářiče jsou namontovány na měřicím rámu. Během skenování povrchu textilního vzorku se rám pohybuje po krocích o určité vzdálenosti. Počítačem řízené zařízení je konstruováno v černé skříni, aby byla zajištěna tma během snímání. Poté, co jsou sejmuty všechny fotografie, počítač si je stáhne. Program jednotky určí požadované vlastnosti splývavosti automaticky. Koeficient splývavosti DC je vypočítán dle všeobecně přijímané definice podle vzorce (19).

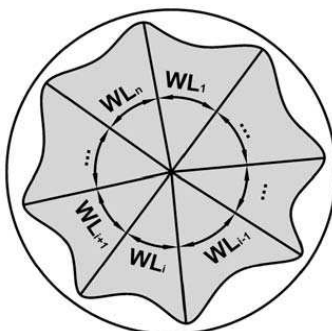


$$DC = \frac{A_r - \pi R_1^2}{\pi R_2^2 - \pi R_1^2} \cdot 100 [\%], \quad (19)$$

Obr. 18 Průmět vzorku v rovině a splývajícího vzorku

kde A_r je plocha plošné projekce splývající textilie
 R_1 poloměr plošiny
 R_2 poloměr ležící textilie

Pro přesnější popis chování splývavosti u textilií byl zaveden nový parametr nazvaný činitel nerovnoměrnosti splývání DU (Drape Unevenness Factor), popisuje geometrické asymetrie a nerovnosti splývání u textilních vzorků (Obr. 19). Fyzicky je to relativní odchylka vlnové délky vytvořené na obvodu plošné projekce zvlněné textilie.



$$DU = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (WL_i - \overline{WL})^2}{n-1}}}{\overline{WL}}, \quad (20)$$

Obr. 19 Vlnová délka splývajícího vzorku

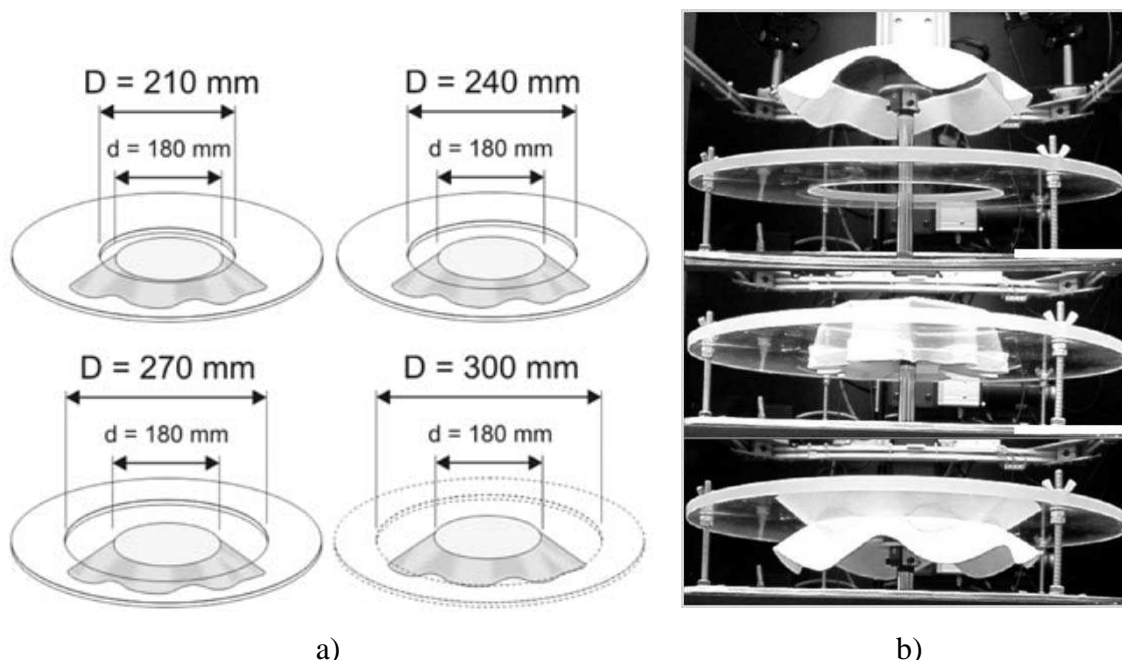
kde WL_i je středový úhel mezi dvěma přilehlými maximálními odchylkami
 (tj. vlnová délka jedné vlny)
 WL je průměrný středový úhel jedné vlny (tj. průměr vlnové délky
 $\overline{WL} = 360/n$)
 n je počet vln

5.6.1 Dynamický účinek na splývavost

Pro měření dynamického účinku na splývavost byl přístroj Sylvie 3D Tester doplněn vyměnitelnými kruhovými prstenci, které mají různý vnitřní průměr. Kruhové prstence jsou umístěny na přístroji takovým způsobem, že tlačí vzorek otvorem kruhu když držák vzorků stoupá (obr 20).

Koeficient splývavosti s dynamickým účinkem je měřen pomocí prstenců. Reprodukovatelnost tohoto měření je vynikající díky konstantní rychlosti zvedání a parametrům použitých prstenců. Vnitřní průměr použitých prstenců je 210, 240 a 270 mm, zatímco průměr držáku vzorků je 180 mm.

Aby bylo možno jednotně zpracovat výsledky měření s prstenci a bez prstenců, je statický případ, který je bez prstence, posuzován jako by byl použit kruh o průměru 300 mm. Tato úvaha může být snadno ověřitelná, jelikož kruh s průměrem 300 mm by splývání neovlivnil, protože by se ani nedotknul textilního vorku, který sám má před zavěšením průměr 300 mm. Takže je absolutně nepodstatné, zda kroužek použit je nebo není. Měření s prstenci různých průměrů simulují účinek, který vyvstává během užívání textilií, na různých úrovních intenzity. [26]



Obr. 20 a) Prstence s různým vnitřním průměrem, b) Měření splývavosti za použití prstenců.

[26, s.5]

6 Experimentální část





6.1 Materiály použité na experiment

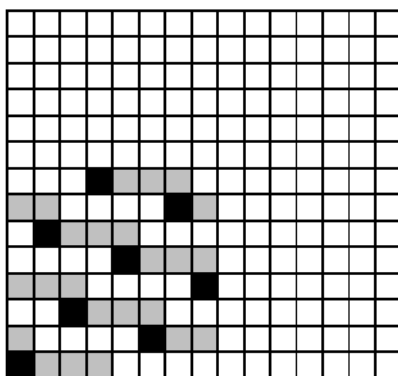
Materiály, které byly použity v experimentální části této diplomové práce poskytla společnost Velveta a.s. Jedná se o měkké tkaniny s hustým nízkým vlasem na lící straně známé pod označením dyftýn. Tkaniny jsou v oboustranné atlasové vazbě ze středně jemné příze v osnově a hrubší v útku. Jejich použití je hlavně v konfekci (kalhoty, sukně, bundy, vesty, pláště) nebo v obuvnickém průmyslu. Délka, hustota a lesk nebo matnost vlasu jsou závislé na druhu a jemnosti útkové příze a hustotě útku. [27]

Použité byly materiály označené pod firemním názvem dyftýn Rex a dyftýn s vyšší plošnou hmotností Rozela, bez povrchové úpravy a se speciální povrchovou úpravou. Na dyftýn Rex byla použita úprava Teflon® Fabric Protektor, která je registrovanou ochrannou známkou společnosti DuPont. Úprava chrání textilie před olejovými a vodovými skvrnami, na vzhled ani prodyšnost tkaniny nemá vliv. Dyftýn Rozela byl opatřen úpravou 3XDRY®, která je registrovanou ochrannou známkou Schiller Technologies AG. Kombinuje dvě technologie na jedné textili: na vnější straně (líci) textilie je nanesena vodě-odpudivá úprava, zatímco vnitřní strana (rub) je opatřena úpravou pohlcující pot. Textilie opatřená touto úpravou zajišťuje rychlý odvod vlhka od těla na vnější vrstvu, z níž se rychle odpařuje a zároveň nepropouští vlhko z vnější vrstvy dovnitř. [28]

Tkaniny byly dodány v různých barvách, pro přehlednost byly proto vzorky označeny podle tohoto znaku (b – béžová, c – černá, ce – červená, z – zelená). Parametry materiálů jsou uvedeny v tabulce 1. Plošná hmotnost byla výrobcem uvedena v jednotce běžného metru, což je pomocná jednotka používaná v textilním průmyslu. Používá se u materiálů dodávaných v rolích a určuje obsah (obdélníku) daného materiálu o délce 1 metr a se šířkou odpovídající šířce této role. Velveta a.s. dodává dyftýny v rolích o šířce 1,5 m. Plošná hmotnost je přepočítána na jednotku gm^{-2} . Všechny vzorky jsou ze 100% bavlny, ve vazbě 8-vazného zesíleného atlasu (obr. 21).

Tab. 1 Přehled materiálů s použitých pro experiment.

označení	materiál	název	plošná hmotnost [g/bm]	plošná hmotnost ms [g.m- 2]	Počet nití v dostavě	
					onova	útek
b		Rozela bez úpravy	450	300	26	44
c		Rozela s úpravou 3XDRY	450	300	26	44
ce		Rex bez úpravy	622	415	26	58
z		Rex s úpravou Teflon	630	420	26	58



Obr. 21 Osmivazný atlas, zesílený třemi vaznými body ve směru osnovy, vazba pro bavlnářský dyftýn. [27, s.20]

6.2 Příprava vzorků

Jelikož tkaniny byly doručeny ve složeném stavu, bylo potřeba zajistit, aby záhyby neovlivnily měření. Proto byly nejprve přežehleny a ponechány v rozloženém stavu pro relaxaci. Před samotným naměřením a vystřihováním vzorků byly opět přežehleny.

Pro měření tuhosti ohybu na přístroji TH-7 bylo potřeba na vzorcích vyznačit směrovou růžici. Jelikož se jedná o tkaniny, které mají z lící strany vlas, bylo jednodušší a přesnější vzorky naměřit z rubu. Z toho důvodu jsou směrové růžice načrtnuty z rubní strany, což ovlivňuje další měření a při výpočtech je nutné toto zohlednit a dbát vyšší opatrnosti.

U vzorků pro měření splývavosti, byli pomocné linie načrtnuty z líce z toho důvodu, že měření probíhalo právě z této strany. U měření splývavosti byly vzorky zaznamenány fotoaparátem a měření jednotlivých úhlů probíhalo již pomocí počítačového programu přímo z fotografie. Nutné tedy bylo jen vyznačit dvě hlavní linie ve směru osnovy a útku.

Vzhledem k tomu, že dodané materiály byly většinou v tmavých barvách, bylo potřeba si poradit, čím linie vyznačit, aby byly zřetelné hlavně na fotografiích. Na světlém podkladu se dobře osvědčila klasická propisovací tužka. Na tmavý materiál byla použita olejová křída světlé barvy, která se dá ostře seříznout, dobře drží a nesmazává se jako klasická suchá křída. Barevně byl pak rozlišen útek a osnova.

Vzorky pro měření ohybové tuhosti byly kruhového tvaru o průměru 5 cm. Celkem bylo připraveno 40 vzorků:

- 10x dyftýn Rex bez úpravy
- 10x dyftýn Rex s úpravou Teflon® Fabric Protektor
- 10x dyftýn Rosela bez úpravy
- 10x dyftýn Rosela s úpravou 3XDRY®

přičemž bylo na každém měřeno osmnáct hodnot, vždy v jiném úhlu (celkem 720 hodnot).

Kruhové vzorky pro měření splývavosti byly zhotoveny o velikosti 30 cm v průměru. Celkem bylo připraveno 12 vzorků (tři pro každý druh materiálu), přičemž byl každý vzorek zaznamenán desetkrát a z každého snímku bylo získáno 36 hodnot (celkem 4320).

6.3 Měření na přístroji TH-7

Výhodou přístroje TH-7 (obr. 22) je možnost měření ohybové tuhosti na kruhových vzorcích. Díky tomu je možné měřit ohybovou tuhost v jakémkoli úhlu od směru osnovy na jednom vzorku. To je výhoda zejména při zkoumání anizotropních vlastností textilií a také při zkoumání vztahu ohybové tuhosti a splývavosti.

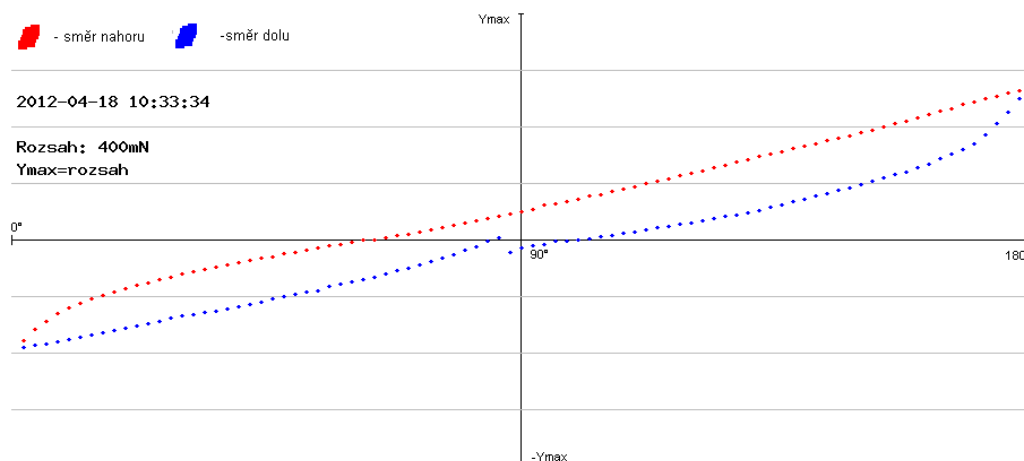


Obr. 22 Vlevo přístroj TH-7, vpravo detail měření při ohybu na přístroji TH-7.

Postup při zkoušce:

- vzorek se vertikálně upne do čelistí přístroje. Pokud se začíná měřit ohybová tuhost ve směru osnovy, je útek vodorovně s čelistmi. Útek vyznačený na vzorku je v místě snímacího čidla.
- Po spuštění se začnou čelisti otáčet. Na přístroji TH-7 je možné měřit vzorky v cyklech a to buď jednostranně (líc nebo rub) nebo oboustranně při jednom spuštění, přičemž se čelisti vykloupí o 90° na každou stranu od původní polohy. V tomto případě byla tuhost měřena po lící i po rubu naráz a vypočítaná průměrná hodnota.
- Po dokončení cyklu (líc i rub) se naměřená síla F [mN] uloží do souboru v programu MS Excel.
- Kruhový vzorek se pak otočí o 10° proti směru hodinových ručiček a postup s otáčením čelistí se opakuje. Síla potřebná k ohybu se měří v celém průměru vzorku, pokud tedy měření postupuje po 10°, je celkem na jednom vzorku naměřeno 18 hodnot. Zbýlých 18 hodnot pro doplnění směrové růžice na 360° se překopíruje.

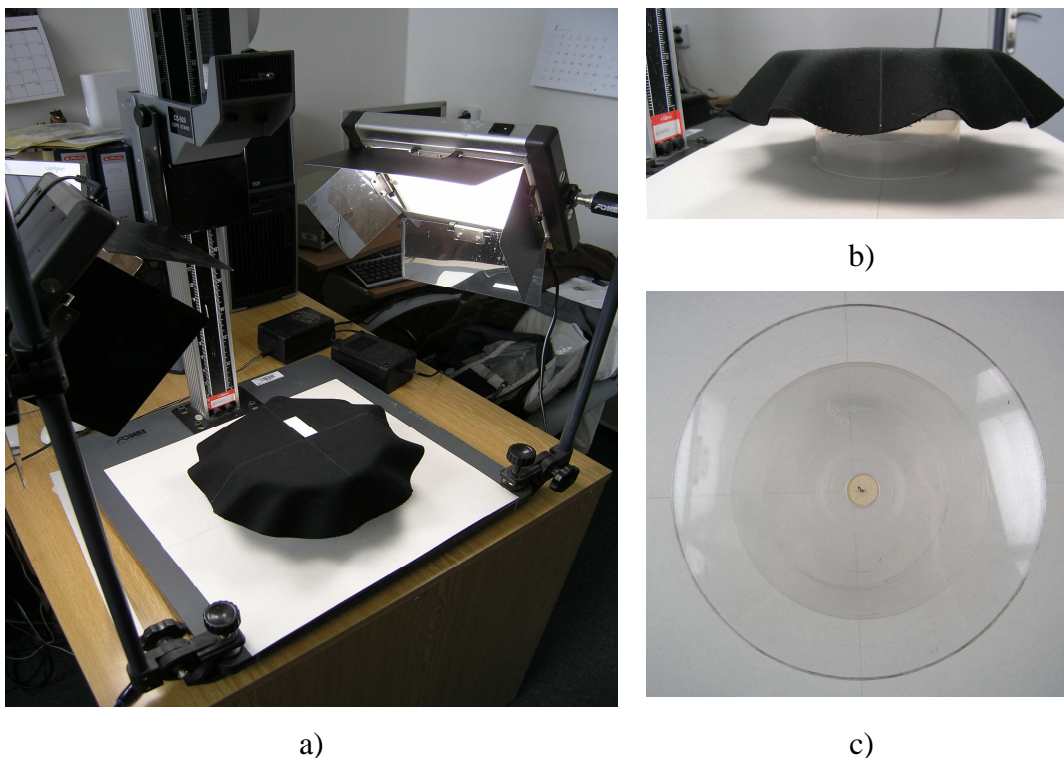
- Přístroj zaznamenává všechny hodnoty v každém stupni ohybu čelistí. Pro výpočet průměrné síly F byly použity hodnoty zaznamenané v bodech, kdy byla poloha čelistí nejvychýlenější (obr. 23).



Obr. 23 Graf ohybové tuhosti – ohybová síla v závislosti na úhlu otočení čelistí přístroje TH-7.

6.4 Měření splývavosti

Splývavost byla měřena na podobném principu, jaký zavedl Cusick. Konstrukce přístroje obsahuje základní desku, na níž byl speciálně pro toto měření zhotoven podklad z bílého papíru, aby se vytvořil kontrast mezi textilií tmavší barvy a pozadím. Dva nastavitelné světelné zdroje se zrcadly pro větší intenzitu osvětlení, které shora osvětlují měřený předmět prakticky ze všech stran, jak je vidět na obrázku 24 a). Zařízení je dále opatřeno vertikálním posuvným držákem pro fotoaparát s milimetrovou stupnicí pro přesné nastavení výšky fotoaparátu, který je umístěný kolmo nad měřeným předmětem. Dále byl zhotoven podstavec určité výšky nahoře s kruhovou plochou o průměru 18 cm na něž byl umísťován vzorek, viz. obr. 24 b) a 24 c). Výška podstavce byla zvolena tak, aby volné konce textilního vzorku, který měl v průměru 30 cm, mohly volně splývat a aby experimentátor o textilií při manipulaci nezavadil a neovlivnil tak profil splývající látky. Aby vzorek dobře držel a nedošlo k jeho posunutí, byl přesně v jeho středu umístěn hrot. Na hrot se umístil vzorek v bodě, kde se křížili útkové a osnovní načrtnuté linie. Aby bylo možno z fotografií stanovit přesný rozměr, bylo na vzorku umístěno měřítko.



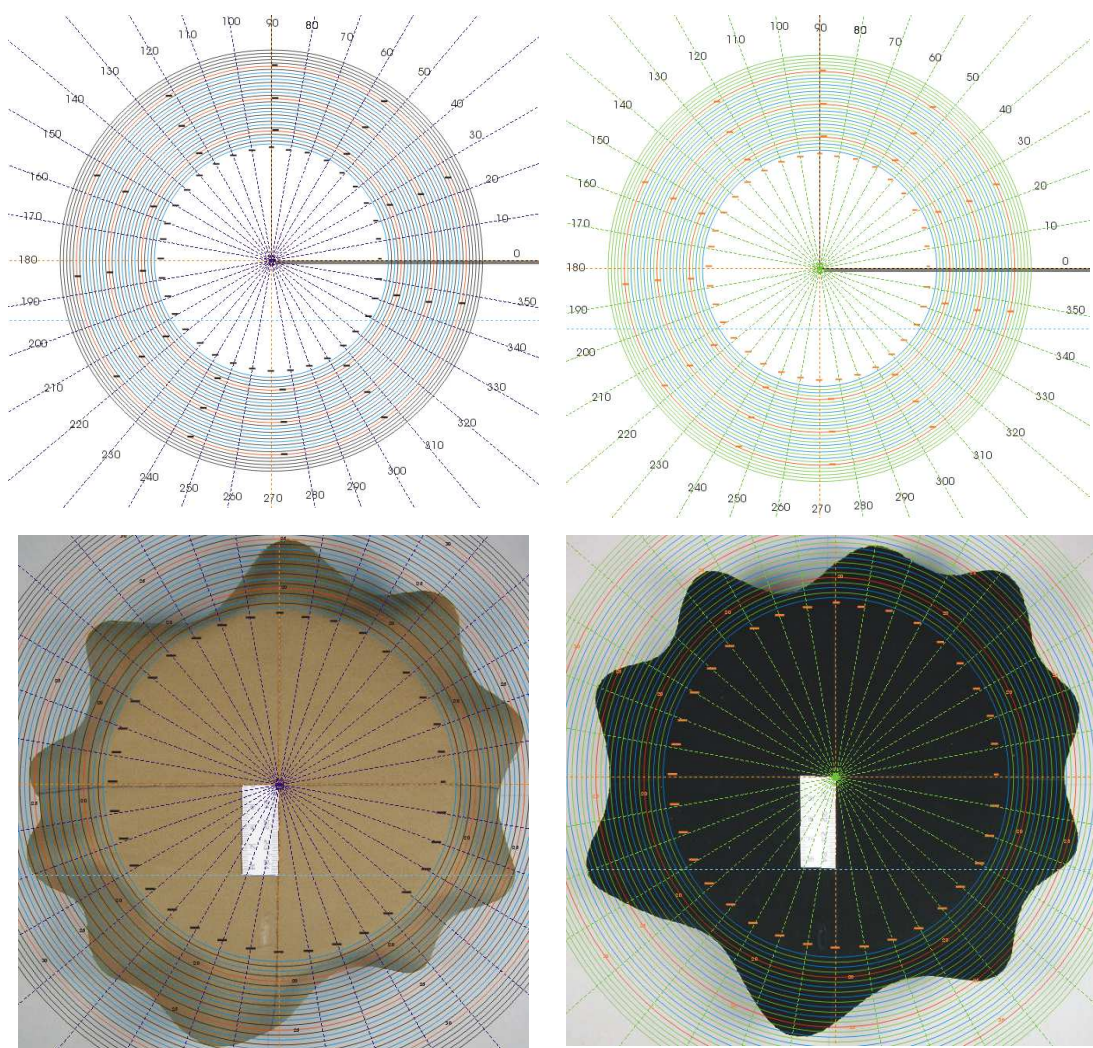
Obr. 24 Měření splývavosti, a) celkový pohled na zařízení, b) vzorek na podstavci c) podstavec.

Postup při měření:

- kruhový vzorek textilie se umístil na podstavec tak, aby střed vzorku (místo křížení osnovní a útkové line) byl přesně ve středu kruhové plochy podstavce. Díky hrotu bylo zaručeno zachování v této pozici.
- experimentátor se vzorkem zatřásl, aby se vytvořily záhyby bez zásahu rukou a poté přípravek umístil na základní desku přístroje pod fotoaparát co nejopatrněji, aby dotyk neovlivnil tvar splývající textilie.
- na vzorek se umístilo měřítko a splývající vzorek se vyfotil
- na tomtéž vzorku proběhl postup 10x. Experimentátor s přípravkem na němž byl stále přichycen vzorek zatřepal, tím se více či méně změnilo umístění, tvar a velikost vln, opět opatrně položil pod fotoaparát, umístil měřítko a vyfotil.
- postup byl opakován na dalších třech různých materiálech.
- Poté se nafocené snímky uložili do počítače pod příslušným označením. Ukládání probíhalo naráz pro všechny čtyři materiály protože je bylo snadné rozlišit podle barev.
- Od každé barvy byly připraveny celkem 3 vzorky. Celý uvedený postup se tak opakoval ještě 2x.

Přestože byly na podkladovém papíře načrtnuty kolmé osy, v dobré vůli, že usnadní umístění vzorku podle osnovy a útku, neměly na průběh měření vliv. Fotografie byly v počítači pootočené podle linií, které byly narýsovány přímo na textilií. Úprava a měření vzdáleností od středu ke zvlněnému okraji vzorku byla provedena v programu CorelDRAW9. V tomto programu byla fotografie zmenšena tak, aby měřítko umístěné na vzorku při focení, odpovídalo skutečnému rozměru. Jelikož byly všechny vzorky foceny ze stejné vzdálenosti, fotografie tak byly zmenšeny vždy o stejné procento, přesto byla úprava fotografií neustále kontrolována.

Aby bylo možno porovnávat splývavou délku a ohybovou sílu, která byla měřena po 10° , je i ohybová délka naměřena po 10° . K zjišťování délky byla vytvořena směrová růžice s pomocnými kružnicemi, pod kterou se umístila fotografie. Pomocná směrová růžice byla zhotovena ve dvou barevných variantách, pro snadné rozlišení na té které barvě tkaniny (obr. 25).



Obr. 25 Pomocné směrové růžice vytvořené v programu CorelDraw (nahore) a vzorky po přiložení pod směrovou růžici (dole).

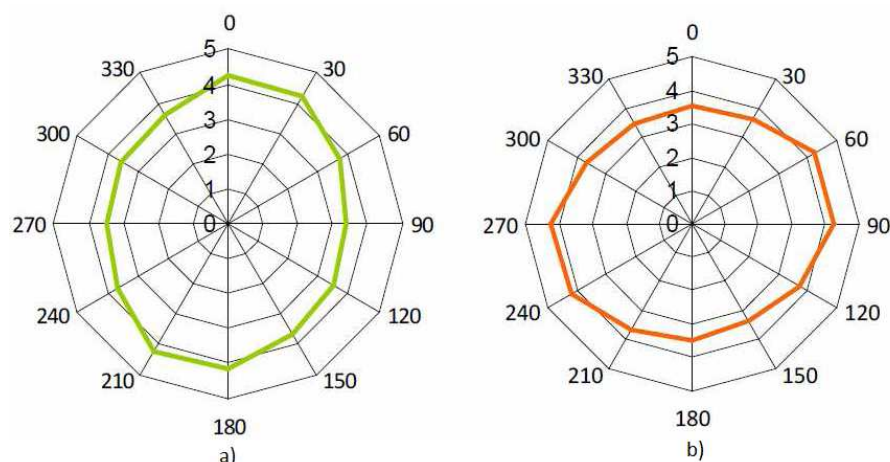
Vzdálenost byla měřena od středu směrové růžice (protnutí os ve směru osnovy a útku) k okraji zvlněného tvaru vzorku. Měření po 10-stupňových krocích bylo vybráno proto, aby zaznamenání změn tvaru bylo co nejdetailnější, zároveň ale aby byly hodnoty měřitelné na vzorcích o průměru 5 cm, na nichž byla zkoumána ohybová síla. Získané hodnoty byly ukládány do tabulky v programu MS Excel. Jelikož byly hodnoty měřeny od útkové (vodorovné) osy v protisměru hodinových ručiček, bylo potřeba hodnoty v programu správně pootočit a převrátit, aby odpovídali hodnotám v polárním diagramu a byly porovnatelné s hodnotami ohybové tuhosti.

6.5 Vyhodnocení ohybové tuhosti

Kruhové vzorky byly měřeny na přístroji TH-7 po 10° v protisměru hodinových ručiček. Velikost úhlu byla vybrána po deseti stupních pro detailnější porovnání s výsledky měření splývavé délky. Směr měření na výslednou sílu vliv nemá, jak vyplývá z experimentu, který zahrnula do své habilitační práce L. Fridrichová [19].

L. Fridrichová zkoumala vliv pořadí šestnácti směrů na vzorku papíru i na vzorku tkaniny. Nejprve byl vzorek při měření každé ze šestnácti pozic pootáčen proti směru hodinových ručiček. Vzorky se pak nechaly 24 hodin relaxovat a poté byly změřeny ve směru hodinových ručiček. U textilního vzorku bylo každé měření provedeno dvanáctkrát pro každý směr a zprůměrováno. Pro vyhodnocení výsledků bylo použité párové porovnání a jednofaktorová ANOVA podle Melouna a Militkého. Na základě výsledků se neprokázalo, že by zvolené pořadí mělo na výsledek vliv.

Je však důležité zadávat hodnoty do polárního diagramu v odpovídajícím pořadí. Jelikož byly vzorky zkoumány z rubové strany čelem k experimentátorovi, byl vybrán směr proti hodinovým ručičkám. Odpadá tak převrácení hodnot při zadávání do polárního diagramu ve směru hodinových ručiček. Nedodržení správného směru, či záměny osnovy a útku by značně ovlivnilo výsledný tvar, jak je vidět na obr. 26, a zkoumání by nemělo smysl. Proto je třeba aby experimentátor byl při přípravě a měření pečlivý, vzorky si řádně označil a postup měření si průběžně zaznamenával.



Obr. 26 Změna tvaru při špatném zadávání dat do polárního diagramu: a) správná orientace, b) záměna osnovy a útku. [22, s.27]

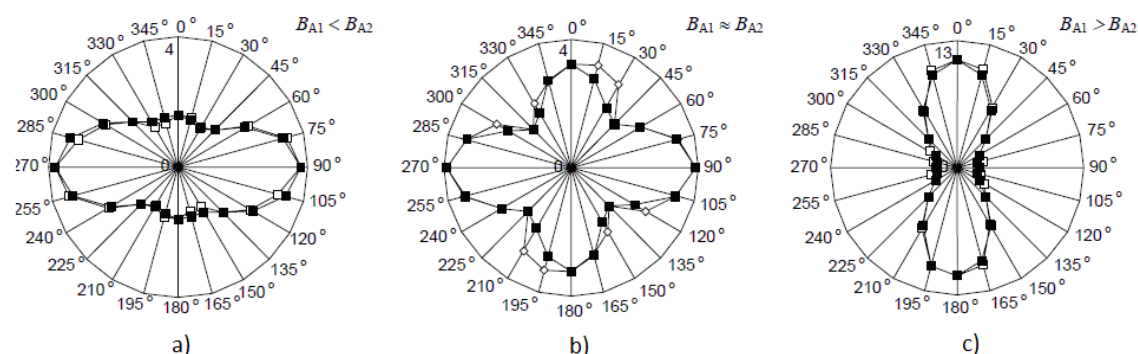
V řadě prací již bylo prokázáno anizotropní chování textilií, kdy se tkanina chová jinak ve směru osnovy a útku, případně v dalších směrech. Například Sidabraite a Mateikaite [16] provedli experiment, v němž měřili ohybovou tuhost v různých směrech. Připravili si tři obdélníkové vzorky o rozměrech 5x15 cm pro každý směr. Měřili ohybovou délku celkem ve 12 směrech v rozmezí 0°- 165°s krokem po 15°, vždy dvakrát lícem nahoru a dvakrát lícem dolů. Pro každý vzorek tak byly naměřeny 4 hodnoty ohybové délky. Průměrná ohybová délka a průměrná ohybová tuhost B_A byla vypočtena z dvanácti měření pro každou textilií.

Výzkum proběhl na sedmi tkaninách, převážně plátňové vazby (kromě C–ryps a D–ryps kombinovaný s plátňovou vazbou), v různém materiálovém složení a v různých spíše nižších plošných hmotnostech. Experimentálně získané průměrné hodnoty ohybové tuhosti pak porovnávali ve třech hlavních směrech - v osnově B_{A1} , v útku B_{A2} a v diagonálním směru B_{A3} , který je průměrnou hodnotou ze dvou směrů (45° a 135°), vypočtený podle rovnice:

$$B_{A3} = \frac{B_{A45} + B_{A135}}{2}. \quad (21)$$

Výsledky průměrné ohybové tuhosti tkanin v různých směrech získané experimentální i teoretickou cestou se pak znázornili v polárních diagramech. Z diagramů je patrné, že materiály s různou ohybovou tuhostí v osnově, útku a jiných směrech mají různé tvary, což ukazuje právě na anizotropní chování tkanin v ohybu. Sidebraite a Masteikaite zavedli poměr B_{A1}/B_{A2} , kterým může být anizotropní chování vyjádřeno ve dvou hlavních směrech. Obr. 27 znázorňuje tři možné tvary polárních

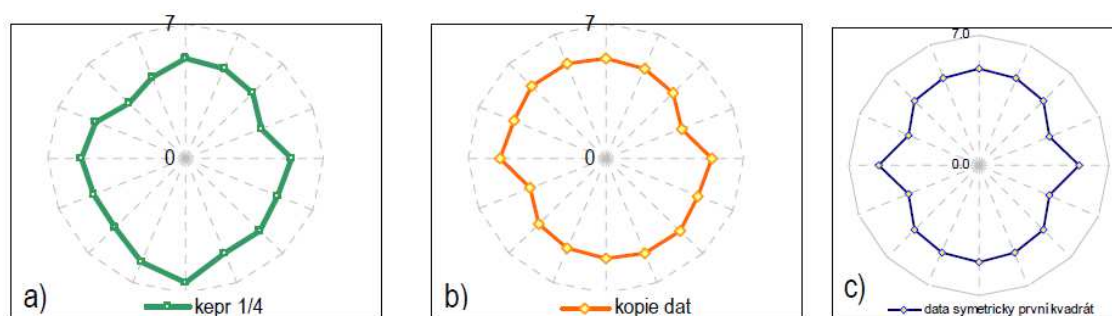
diagramů s rozdílným poměrem osnovy a útku, kde jednotlivé poměry vychází a) $B_{A1}/B_{A2} < 1$ a tvar vykazuje horizontální orientaci, b) $B_{A1}/B_{A2} = 1$ s minimálním stupněm anizotropie a c) $B_{A1}/B_{A2} > 1$ s vertikální orientací.



Obr. 27 Polární diagramy ohybové tuhosti tří tkanin (\square - experimentální data, \blacksquare - teoretická data).
[16, s.113]

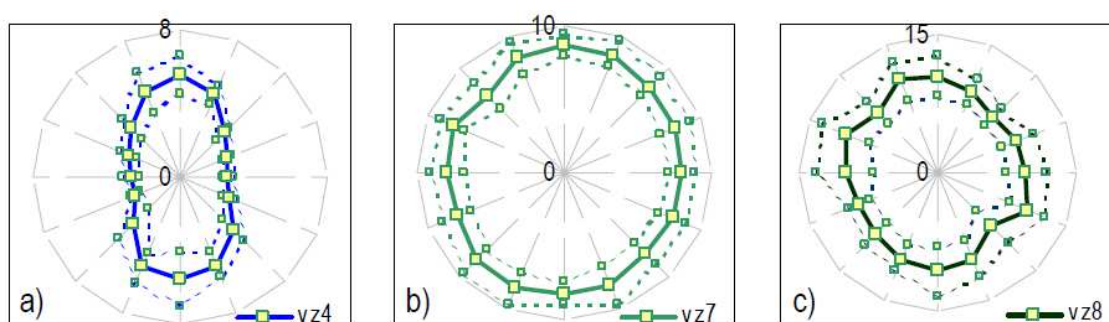
Sidebraite a Mateikaite naměřili pouze polovinu hodnot ohybové délky v rozmezí 0° - 165° a zbytek hodnot pro stupně 180° až 360° dle symetrie do polárního diagramu doplnili. To komentuje ve své habilitační práci L. Fridrichová [19], která se anizotropií ohybové tuhosti také zabývá. Upozorňuje na nevhodnost kopírování dat, jelikož textilie je nehomogenní materiál a dokládá to výsledky z vlastního experimentu.

Jak moc mohou být výsledné tvary obrazců rozdílné pokud jsou naměřená data kopírována do další části polárního diagramu demonstrovala na obr. 28. Na obr. 28 a) byly zaneseny všechny naměřené hodnoty ohybové síly pro určitou tkaninu, celkem pro 16 směrů s postupným krokem $22,5^\circ$ v rozmezí od 0° až 360° . Na obr. 28 b) je pouze prvních osm hodnot naměřených v rozmezí 0° až $157,5^\circ$ a zbylých osm pro úhly od 180° do $337,5^\circ$ doplněno. Výsledný tvar je o dost jiný a stejně tak tomu je v případě obr. 28 c), kde byly zaneseny pouze první čtyři hodnoty z měření od 0° do 90° a zbylé hodnoty do grafu doplněny.



Obr. 28 Změna obrazce způsobená kopírováním hodnot. [19, s.54]

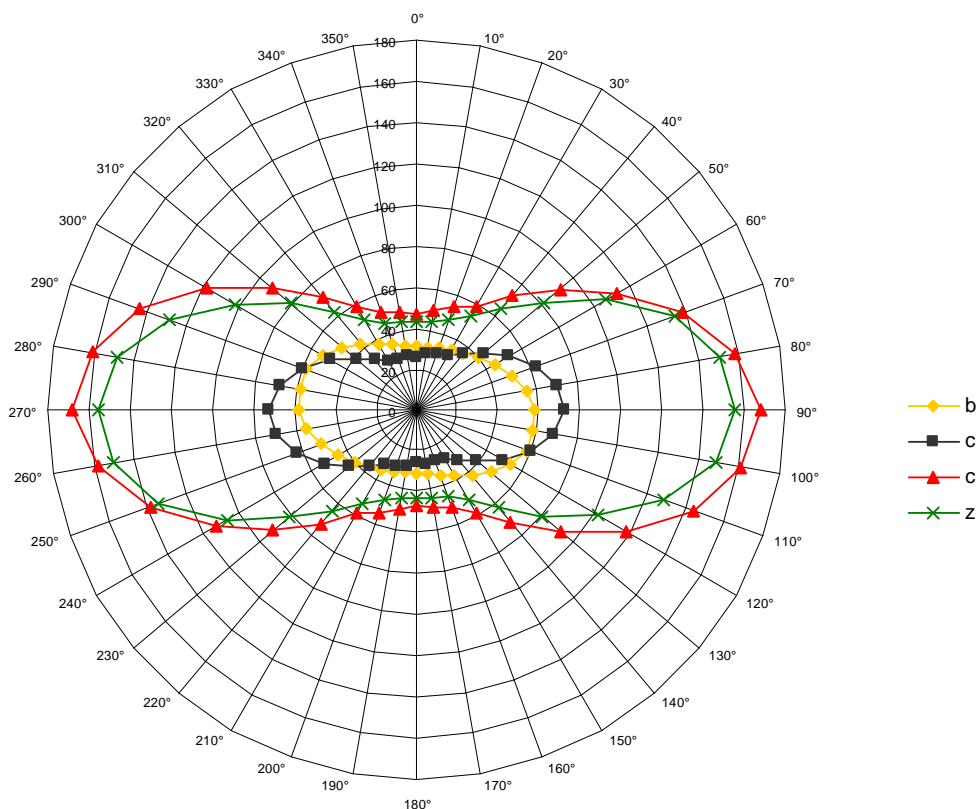
Odlišné tvary obrazců vznikly při výpočtech poměrů hodnot v osnově a útku B_{A1}/B_{A2} , respektive F_o/F_u , jelikož výstupem z přístroje TH-7 je ohybová síla F [mN]. Porovnáním obrazců z polárních diagramů s předchozím experimentem je vidět, že se obr. 29 a) tvarově shoduje s obr. 27 c), což odpovídá poměru hodnot $B_{A1} > B_{A2}$, respektive $F_o > F_u$. Avšak pokud byl výsledek ohybové síly $F_o/F_u \approx 1$, pak se tvar obrace přibližoval kruhu, viz. obr. 29 b). L. Fridrichová se ve své práci s tvary na obr. 27 a) a 27 b) nesetkala, přestože v obou případech byly zkoumány materiály v plátnové vazbě. Jako vysvětlení je uvedeno, že zkoumané tkaniny mohou mít jinou přízi v osnově a v útku, tyto podrobnější parametry se v práci Sidebraita a Masteikaita [16] bohužel neuvádí.



Obr. 29 Obrazce získané měřením ohybové síly. [19, s. 54]

V experimentu, který zahrnuje tato diplomová práce, byly zkoumány tkaniny stejné vazby i složení, s vyšší hustotou dostavy o vyšších plošných hmotnostech. Výsledný tvar obrazců v polárním diagramu, viz obr. 30, vyšel pro všechny téměř stejně s orientací v horizontálním směru. V porovnání s výsledky předchozího experimentu odpovídá tvarově obr. 27 a), kde ohybová tuhost v útku vychází vyšší než po osnově. Tvarově se podobají zejména tkaniny s vysokou plošnou hmotností 415 g.m^{-2} (materiál *ce*) a 420 g.m^{-2} (materiál *z*).

Lze předpokládat, že tkaniny s pevnou vazbou, mají i vysokou pevnost ve smyku, tedy že nedochází ke změně struktury prokluzováním nití při mechanickém namáhání tkaniny. Naopak u tkanin s volnější strukturou (nižší dostavou) může docházet ke změnám postavení jednotlivých nití a jejich vzájemnému tření a při zkoumání je potřeba tento fakt zohlednit. To lze vidět i ze statisticky vyhodnocených dat v tabulce 2, kde průměrná hodnota byla získána z celkem deseti vzorků pro každý materiál. Nižší variační koeficient vychází u materiálů *ce* a *z*, jež mají vyšší plošnou hmotnost i ohybovou tuhost, zatímco u *b* a *c*, je variační koeficient vyšší.



Obr. 30 Graf ohybové síly.

Tab. 2 Výsledné ohybové síly F [mN]

vzorek	Průměr	Směrodatná odchylka	Rozptyl	Variační koeficient	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b	42,6	1,56	2,44	3,66	43,5	41,7
c	43,2	1,83	3,71	4,23	44,3	42,2
ce	93,4	3,05	10,3	3,24	95,7	92,2
z	85,5	2,84	8,98	3,33	87,1	83,8

Cooper [29] poukázal na to, že struktura textilií je hlavním faktorem, který mění tvar polárního diagramu a že ohybová tuhost v diagonálním směru a ve dvou hlavních směrech se může lišit. Zavedl poměr $V = (J_1 + J_2) / (B_1 + B_2)$, kde J_1 a J_2 jsou konstanty pro krouticí moment, a kterým lze předvídat trendy v polárním diagramu. Pokud se výraz $(J_1 + J_2)$ nahradí hodnotami tuhosti ve směrech osnovy, útku a ve směru 45° výpočet poměru V se změní následovně:

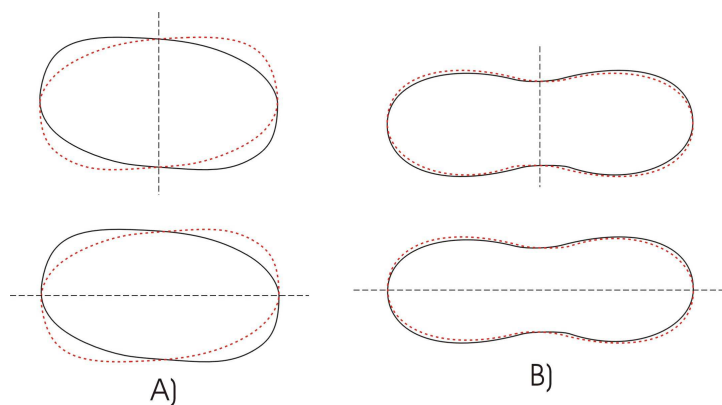
$$V = \frac{4B_3 - (B_1 + B_2)}{B_1 + B_2}. \quad (22)$$

Průměrné hodnoty každé tkaniny jsou uvedeny v tabulce 3, kde F_o je ohybová síla ve směru osnovy, F_u ve směru útku a F_d je hodnota v diagonálním směru vypočtená z průměrných hodnot ve směru 45° a 135° podle vztahu $F_d = (F_{45} + F_{135})/2$.

Tab. 3 Výsledné ohybové síly ve třech hlavních směrech

tkanina	m_s [g.m ⁻²]	Průměrná ohybová síla F [mN]			F_o/F_u	V
		F_o	F_u	F_d		
b	300	31,18	57,63	41,25	0,54	0,86
c	300	25,71	72,08	37,23	0,36	0,52
ce	415	46,95	167,68	81,88	0,28	0,53
z	420	43,05	155,33	71,96	0,28	0,45

V práci Sidebraita a Mastekaita [16] je možno sledovat souvislost poměru V s tvary výsledných obrazců. U obr. 27 b) vyšel pro zkoumanou tkaninu $V = 0$, mezi osnovou a útkem jsou minimální odlišnosti, kdežto u obr 27 c) vyšel poměr $V = 1$ a odlišnosti zde chybí. I v tomto experimentu lze pozorovat, že právě tkanina b (obr. 31 a), která má nejvyšší poměr V má nejvyšší odchylku od hlavních směrů (osnovy, útku), kdežto materiál z (obr. 31 b) s nejnižším poměrem V , má odlišnosti minimální.



Obr. 31 Odlišnosti obrazců po překlopení kolem vertikální a horizontální osy, A) materiál b , B) materiál z .

6.6 Vyhodnocení splývavosti

Splývavost byla zkoumána z hlediska splývavých délek, které byly naměřeny, a z plochy průmětu splývající textilie, obvodu průmětu a koeficientu splývavosti DC [%], které byly dopočítány podle následujících vztahů.

Plocha S [mm²] průmětu splývajícího vzorku je vypočítána ze součtu jednotlivých ploch třiceti-šesti trojúhelníků, které byly vypočteny podle:

$$S_i = \frac{1}{2} \cdot b_i \cdot c_i \cdot \sin \alpha, \quad (23)$$

kde S_i - je plocha trojúhelníku dle pořadí, viz obr.

b_i - je délka od středu k okraji průmětu dle pořadí

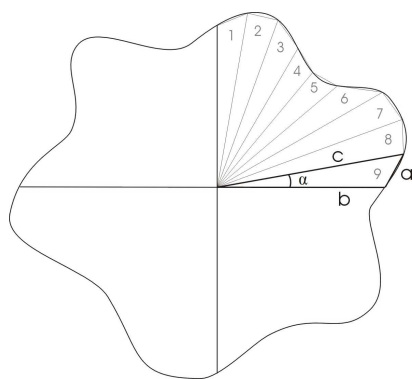
c_i - je délka od středu k okraji průmětu dle pořadí, přičemž platí $c_1=b_2$

α - je úhel 10°

Obvod O [mm] průmětu splývajícího vzorku je vypočítán součtem všech stran a_i z celkem třiceti-šesti trojúhelníků. Strany a_i byly vypočítány podle:

$$a_i = \sqrt{b_i^2 + c_i^2 - 2b_i c_i \cdot \cos \alpha} \quad (24)$$

Koeficient splývavosti DC [%] byl vypočítán podle standardně zavedeného poměru plochy S_2 , který zabírá splývající textilie a původní plochy vzorku S_1 přepočtené na procenta podle vztahu 25.



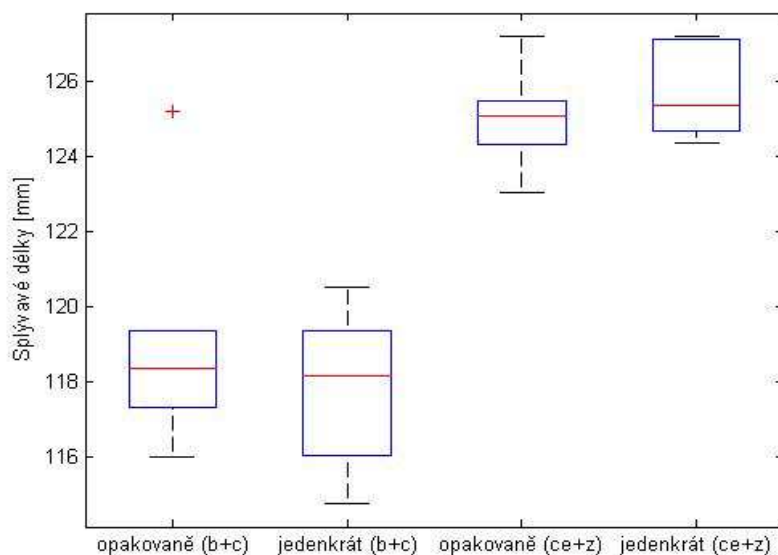
$$DC = \frac{S_2}{S_1} * 100 \quad (25)$$

Obr. 32 Schéma pro výpočet plochy a obvodu.

Pomocí těchto hodnot bylo zjišťováno, zda může být použit pouze jeden vzorek pro vícero měření, nebo zda musí být pro každé měření vzorek zvlášť. Pokud by se prokázalo, že je možné experiment provádět opakovaně na tomtéž vzorku, znamenalo by to především úsporu materiálu pro výzkum a také úsporu času potřebného pro přípravu vzorků.

Byl spočítán průměr \bar{x} , směrodatná odchylka s , variační koeficient v a 95% interval spolehlivosti z deseti měření průměrných délek téhož vzorku a stejné statistické údaje pro tři jednotlivé vzorky, z nichž bylo vybráno vždy první měření. Totéž bylo spočteno i pro plochu splývajícího vzorku S , pro obvod O a pro koeficient splývavosti DC . Hodnoty jsou přehledně zaznamenány v tabulkách uvedených v příloze A.

Ve všech případech nedosáhl variační koeficient ani 5%, pouze u jednoho vzorku byl při výpočtu obvodu variační koeficient přes 7%. Srovnáním variačních koeficientů u opakovaného měření na jednom vzorku nebo u tří různých vzorků nebyl shledán rozdíl, což se ukázalo u všech čtyřech zkoumaných hodnot. Navíc ani u průměrů hodnot nebo u konfidenčních intervalů (intervaly spolehlivosti) nebylo shledáno, že by se výrazně lišily. Pro grafické znázornění byly vytvořeny krabicové grafy, na obr. 35 je možno vidět splývavé délky. Ostatní hodnoty jsou uvedeny v příloze B.



Obr. 33 Srovnání měření vzorků opakovaně a měření více vzorků jednou.

V obr. 33 jsou zobrazeny rozdíly mezi měřením jednoho vzorku vícekrát a měření více vzorků jedenkrát. Jelikož byly v experimentu použity pouze čtyři materiály,

aby bylo možno porovnat měření více vzorků, byly podle plošných hmotností sloučeny materiál *b* s *c* a *ce* se *z*. První krabice v grafu je složena z prvních třech měření prvního vzorku *b* a *c*, druhá krabice v grafu je složena z prvních měření každého vzorku *b* a *c*. Třetí a čtvrtá krabice ukazuje totéž pro materiály *ce* a *z*. Z výsledných dat i grafu lze vidět, že hodnoty získané měřením jednoho vzorku, resp. dvou vzorků opakovaně jsou sice méně rozptýlené než hodnoty naměřené vždy na zvláštním vzorku, přesto nijak významně. Střední hodnoty jsou téměř shodné. Z toho lze usuzovat, že splývavost nemusí být měřena vždy na zvláštním vzorku a že lze jeden vzorek použít opakovaně. Vzhledem k omezené variabilitě zkoumaných tkanin ovšem doporučuji provést podrobnější výzkum, kde by se použilo jak více druhů tkanin, tak více vzorků od každé tkaniny.

Průměrné hodnoty ploch vzorků vyšly u materiálů *b* a *c* okolo 441 cm², kdežto u materiálu *ce* a *z* přibližně 486 cm². To dokazuje, že vyšší plošná hmotnost má vliv na splývání a že materiály s vyšší plošnou hmotností méně splývají. To následně ukazují i průměrné hodnoty koeficientu splývavosti DC, který pro první dva materiály vyšel přibližně 62% a pro těžší materiál 69%.

Pokud byl DC spočítán podle vzorce 26 uváděného pro F.R.L. Drapemeter, kde se počítá s čistou plochou, které je umožněno splývat, vyšel koeficient splývavosti pro nižší hmotnosti 73% a pro materiály těžší hmotnosti 91%, rozdíl pouhých 9% od původní plochy ukazuje na velmi malou splývavost.

$$DC = \frac{S - \pi \cdot r^2}{\pi \cdot R_1^2 - \pi \cdot r^2} * 100 [\%], \quad (26)$$

kde S je plocha průmětu
 r poloměr podpěrného disku
 R poloměr původního vzorku

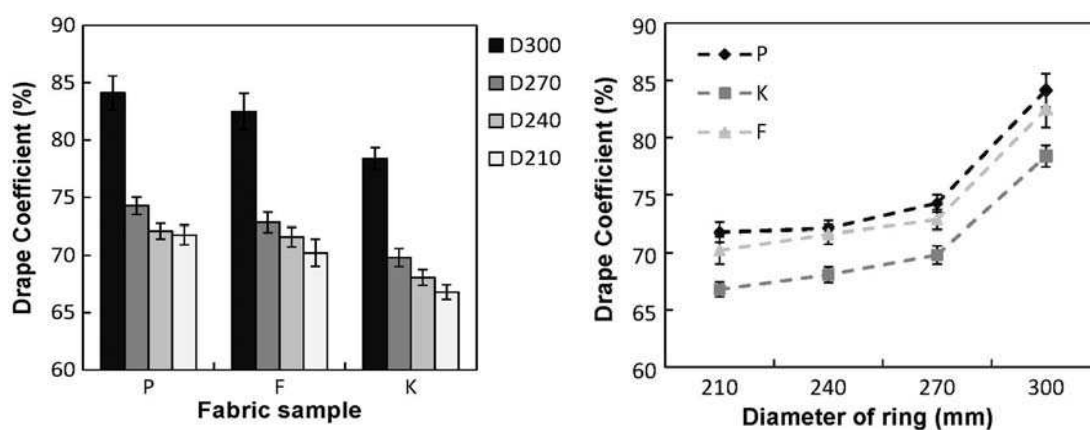
Navíc bylo zjištěno jaký vliv má na splývavost plošná hmotnost textilií. Materiál *b* a *c* mají plošnou hmotnost 300 g.m⁻², zatímco materiál *ce* a *z* mají plošnou hmotnost přibližně 415 g.m⁻². Jak lze vidět v tabulce 4 průměrné hodnoty variačních koeficientů získané z 30ti hodnot pro každý materiál, byly u materiálů *b* a *c* u všech zkoumaných veličin (délky, plochy, obvod, DC) vždy vyšší než u materiálů *ce* a *z*. Z toho lze usoudit, že čím nižší je plošná hmotnost textilií, tím rozdílnější je chování při splývání.

Tab. 4 Variační koeficienty podle plošných hmotností.

	Splývavá délka	Plocha průmětu	Obvod průmětu	DC
b + c + ce + z	1,31	2,67	2,75	2,67
b + c	1,47	3,06	4,11	3,06
ce + z	1,15	2,27	1,38	2,27

Z hlediska statistiky by samozřejmě bylo lepší mít více vzorků, které by bylo možné mezi sebou porovnat. Také by pro přesnější měření bylo vhodné mít automatický zdvih čelistí tak, aby se vlny na splývavícím vzorku utvářely zcela samovolně pouze vlivem struktury a anizotropních vlastností textilie. Takové zařízení (elevator) například použili ve svém výzkumu Mizutani s kolegy [18], kteří zkoumali proces tvorby tvaru drapérie.

Mechanismus utváření vln na splývavícím vzorku také zkoumali Al-Gaadi s kolegy [27], kteří pomocí prstenců, jimiž splývavící vzorek prochází, zkoumali dynamický účinek na splývavost. Pro svůj experiment použili přístroj Sylvie 3D drapemeter, který rovněž umožňuje automatický zdvih čelistí z rovinné plochy. Obr. 34 ukazuje, jak se změní koeficient splývavosti DC% vypočtený podle vztahu 26 za použití prstenců různého průměru.

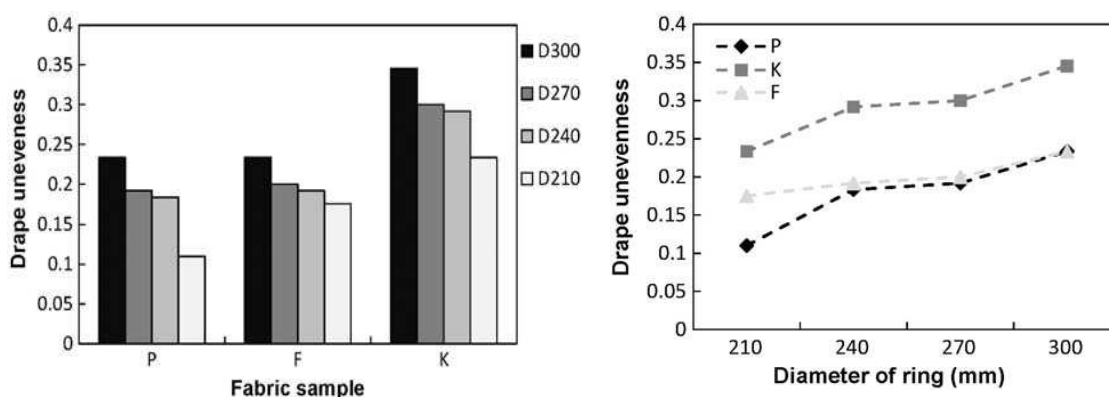


Obr. 34 Vliv použití prstenců s různými průměry na koeficient DC. [27, s.6-7]

Dále zavedli také nový parametr nerovnosti DU (Drape Unevenness Factor) pro popis geometrické asymetrie a nerovností splývání u textilních vzorků, který je možné přeložit jako činitel nerovnosti splývání. Jedná se o relativní odchylku vlnové délky vytvořené na obvodu plošné projekce zvlněné textilie. DU se vypočítává podle vztahu:

$$DU = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (WL_i - \overline{WL})^2}{n-1}}}{\overline{WL}}, \quad (27)$$

kde WL_i je centrální úhel mezi dvěma přilehlými maximálními odchylkami (tj. vlnová délka jedné vlny). WL je průměrný centrální úhel jedné vlny (tj. průměr vlnové délky $WL=360/n$) a n je počet vln. Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že menší hodnota DU znamená rovnoměrnější splývání zkoumané textilie. Při použití prstenců s různými průměry se DU změní následovně (obr. 35).

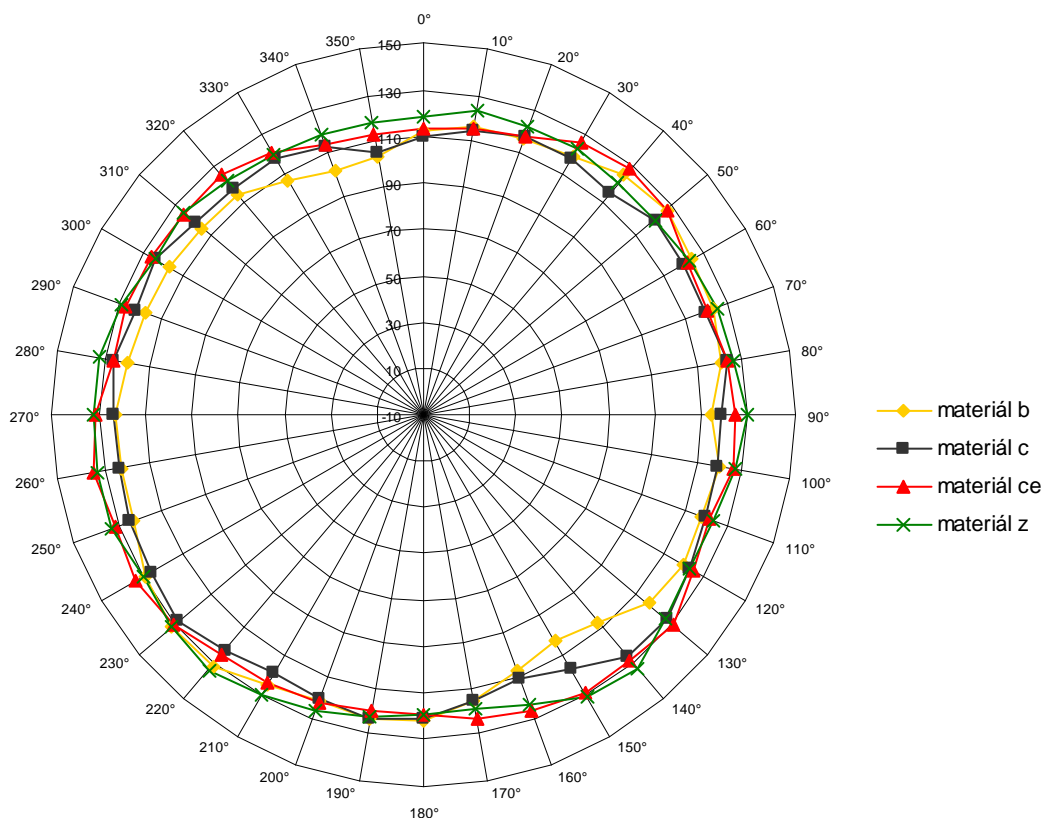


Obr. 35 Vliv použití prstenců s různými průměry na parametr DU .

6.7 Srovnání ohybové tuhosti a splývavosti

Síly ohybové tuhosti zanesené do polárního diagramu se ukázali silně horizontálně orientované, tedy vykazovaly mnohem větší ohybovou tuhost ve směru útku nežli ve směru osnovy. Pro posouzení orientace u splývavosti byly do polárního diagramu zaneseny i průměrné hodnoty splývavých délek v příslušném směru (obr. 36). Z tvarů obrazců je možno vidět, že i zde je mírná orientace. Anizotropii jednotlivých vzorků je možno vidět v příloze D.

Ukazují to i hodnoty uvedené v tabulce 5, kde hodnoty v osnově jsou vždy menší než-li v útku a výsledný poměr je tedy v obou případech menší než 1.



Obr. 36 Polární diagram splývavých délek.

Tab. 5 Anizotropie tkanin v osnově a útku

Materiál	Splývavost [mm]			Ohybová síla [mN]		
	osnova	útek	osnova/útek	osnova	útek	osnova/útek
b	117	118	0,98	31,18	57,63	0,54
c	115	121	0,95	25,71	72,08	0,36
ce	116	127	0,91	46,95	167,68	0,28
z	119	130	0,91	43,05	155,33	0,28

Zatímco u ohybové tuhosti vyšly hodnoty u všech tkanin jednoznačně orientovány po osnově a útku, tedy nejnižší hodnoty úhlech 0° a 180° (osnova) a nevyšší hodnoty v úhlech 90° a 270° (útek) u splývavých délek to není tak jednoznačné. Z polárního diagramu splývavých délek (obr. 42) je mírná orientace patrná, především u materiálu *b*. U ohybové tuhosti byly hodnoty naměřeny na jedné polovině vzorku a zbytek hodnot byl do polárního diagramu zkopírován, proto se protilehlé hodnoty shodují. Splývavé délky byly naměřeny pro každý směr v rozmezí 0° až 350° a protilehlé hodnoty nemusí vzájemně odpovídat. Aby bylo možno posoudit orientaci

podle výsledných hodnot, byla data srovnána vzestupně a následně pozorováno, kde se v diagramu nejnížší a nejvyšší hodnoty nejvíce vyskytují.

Směrově se nejvíce shodují obrazce v polárních diagramech ohybové tuhosti a splývavosti u materiálu *ce*. Nejnížší splývavé délky byly naměřeny okolo 0° a 180° v rozmezí 340° až 20° a 170° až 190° , tedy ve směru osnovy. Nejvyšší hodnoty jsou v polárním diagramu zaznamenány od 240° do 270° , což už je od vertikálního (útkového) směru lehce odkloněno. Podobně vyšly i hodnoty u materiálu *z*, u nějž se minimální splývavé délky vyskytují v poloze 330° až 0° a 170° až 80° a nejvyšší v rozmezí 220° až 280° . U materiálu *c* je již patrný sklon obrazce v polárním diagramu jak u ohybové tuhosti tak u splývavosti. Odpovídají tomu i hodnoty splývacích délek. Nejmenší hodnoty mají tendenci se shlukovat v rozmezí 330° až 10° a 150° až 170° a nejvyšší hodnoty se vyskytují v rozmezí 230° až 280° . Sklon se u obou charakteristik shoduje ve směru. Ovšem zcela proti očekávání byly naměřeny hodnoty u materiálu *b*, kde je orientace obrazce v diagramu ohybové tuhosti zcela opačná než v diagramu splývavosti. Zrovna zde však minimální a maximální hodnoty splývacích délek odpovídají nejvíce protilehlým hodnotám, kdy se nejnížší vyskytují právě v rozmezí 320° až 0° a 140° až 160° a nejvyšší hodnoty se nacházejí v diagramu od 210° po 240° a na 40° až po 60° .

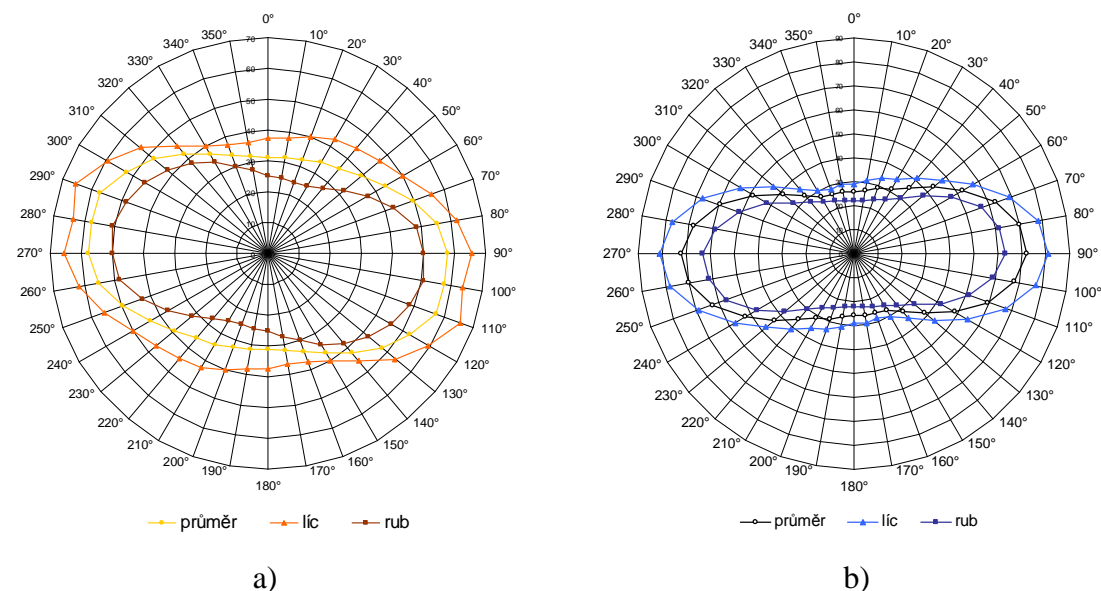
Vzhledem k neočekávanému výsledku u materiálu *b*, byl experiment doplněn o další šetření, ve kterém se zkoumal vliv lícové a rubní strany na výslednou ohybovou tuhost. Průměrné hodnoty ohybových tuhostí pro každý materiál byly zaznamenány v tabulce 6. Prokázalo se, že ohybová tuhost je na lícní straně vyšší než na rubní straně.

Tab. 6 Hodnoty ohybové tuhosti po líci, rubu a průměrná hodnota.

Ohybová síla F [mN]	líc	rub	průměr
b	49,2	36,3	51,8
c	48,4	37,6	43,0
ce	107,3	80,6	93,9
z	97,9	73,0	85,5

V následujících diagramech je znázorněna ohybová tuhost pro líc, rub a průměrná ohybová tuhost, se kterou bylo dosud počítáno. Na obr. 37 b) kde je materiál *c*, lze vidět, že ohybová tuhost pro lícní stranu je vyšší než pro rubní stranu, ale tvar

obrazce je zachován. Stejně tak tomu bylo i u materiálu *ce* a *z*, viz. příloha E. U materiálu *b* (obr. 37 a) lze na obrazci sestaveném z hodnot naměřených ohybem lící strany vidět tendenci vybočovat v místech ve směru okolo 30° a 210° . To by mohl být důvod, proč se v diagramu splývavosti obrazec orientoval opačně vzhledem k průměrné ohybové tuhosti. Zajímavé je, že tvar u rubové strany se podobá prohnuté elipse, jako je tomu u ostatních materiálů, i když vykazuje lehký sklon. Splývavost byla zkoumána pouze na rubní straně. Při splývání se však textilie prohýbá po obou stranách a vytváří tak charakteristické zvlnění. Proto má na splývání vliv jak ohybová tuhost po rubní straně, tak i ohybová tuhost po lící straně a důvodem, proč u materiálu *b* vyšel diagram splývavosti opačně orientovaný mohou být výchyly ohybové tuhosti na lící straně.



Obr. 37 Ohybové síly a) materiál *b*, b) materiál *c*.

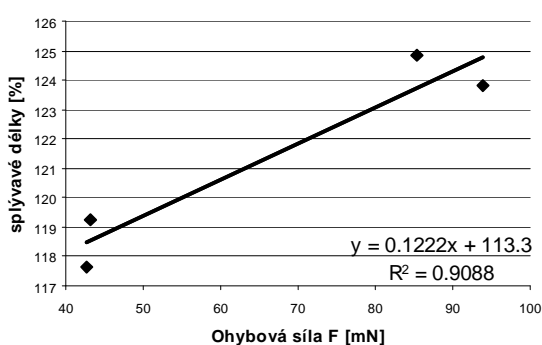
Zajímavé je, že průměrné hodnoty u všech čtyř vzorků nevyšly úměrně v porovnání ohybové tuhosti, plošné hmotnosti a splývavosti, viz tab. 7. Plošná hmotnost u materiálů *b* a *c* je 300 gm^{-2} a u materiálů *ce* a *z* 415 gm^{-2} a 420 gm^{-2} . Dalo by se logicky očekávat, že čím je vyšší plošná hmotnost, tím bude i vyšší ohybová tuhost a naopak nižší splývavost, tedy větší plocha průmětu a větší průměrná hodnota ohybových délek. Tomu odpovídají hodnoty splývavosti u všech čtyř materiálů, ale u ohybové tuhosti pouze první tři materiály. Průměrná ohybová síla potřebná k ohybu u čtvrtého materiálu je nižší než u materiálů s nižší plošnou hmotností. Vysvětlením může být úprava teflon použitá na tento materiál, která mohla ohybové vlastnosti ovlivnit. Pro přesnější stanovení závěrů bych doporučila podrobnější výzkum.

Tab. 7 Průměrné hodnoty všech měření.

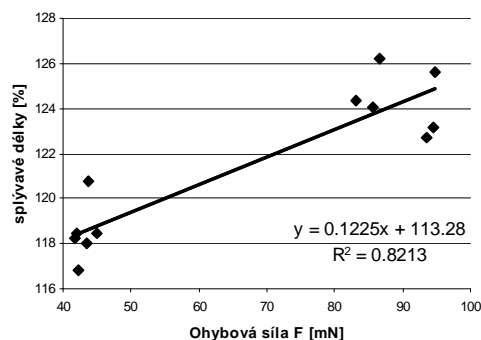
Materiál	Plošná hmotnost [mm ⁻²]	Ohybová síla [mN]	Splývavé délky [mm]
b	300	42,6	118
c	300	43,2	119
ce	415	93,4	124
z	420	85,6	125

Pomocí regresní a korelační analýzy bylo provedeno srovnání ohybové tuhosti s průměrnými splývavými délkami v a s koeficientem splývavosti DC %. V následujícím grafu (obr. 38 a) je znázorněn vztah mezi ohybovou silou a splývavou délkou. Z grafu a výsledných hodnot lze vyčíst silnou přímou závislost, kdy je u materiálů s větší ohybovou tuhostí naměřena větší hodnota ohybových délek. Pearsonův korelační koeficient pro průměr čtyř materiálů vyšel $R = 0,95$.

Jelikož byly měřeny pouze čtyři materiály, byla analýza provedena navíc pro každý vzorek u splývavosti (b1, b2, b3, c1, c2, c3, ce1, ce2, ce3, z1, z2, z3), viz obr. 48 b). Hodnot pro ohybovou tuhost bylo celkem deset pro každý materiál. Aby bylo možno analýzu provést, byly provedeny průměry ohybových tuhostí vždy ze tří vzorků. Výsledná korelace vyšla 0,91, o něco méně než v předchozím srovnání.



a)

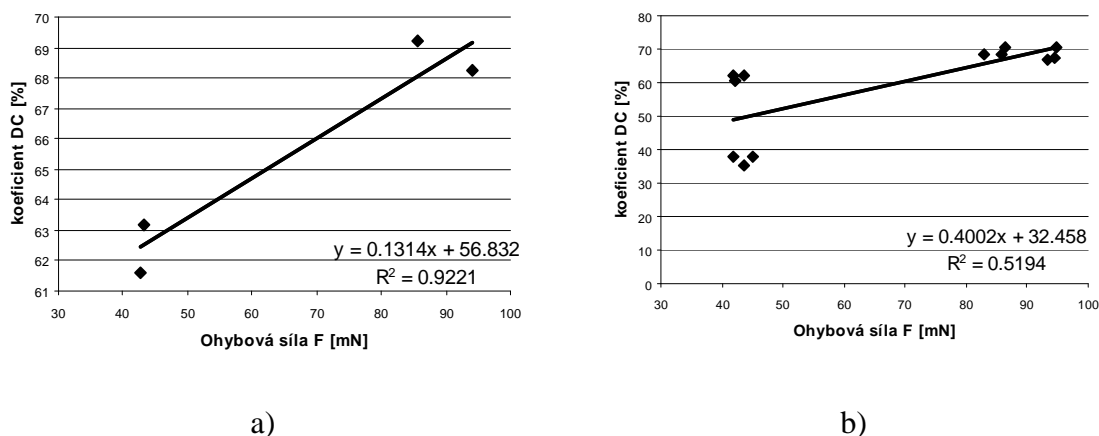


b)

Obr. 38 Vztah mezi ohybovou silou a splývavými délkami, a) průměr čtyř materiálů, b) průměr dvanácti vzorků.

Při posuzování závislosti mezi ohybovou silou a koeficientem splývavosti (obr. 39) byly posuzovány čtyři průměrné hodnoty materiálů. Korelační koeficient vyšel přibližně 0,96, což ukazuje na silnou přímou závislost naměřených dat. Opět se tedy

potvrzuje, že čím je větší ohybová tuhost, tím je větší koeficient splývavosti. Na obr. 39 b) je provedena korelace mezi koeficientem splývavosti dvanácti posuzovaných vzorků splývavosti s ohybovou tuhostí. Výsledná korelace vyšla 0,72, data mají střední sílu závislosti.

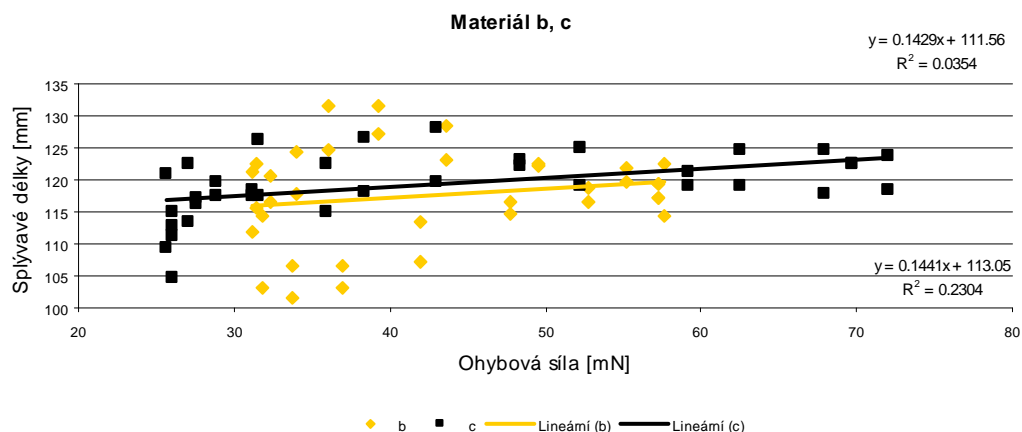


Obr. 39 Vztah mezi ohybovou silou a koeficientem splývavosti DC, a) průměry materiálů b, c, ce, z, b) průměry jednotlivých vzorků pro splývavost.

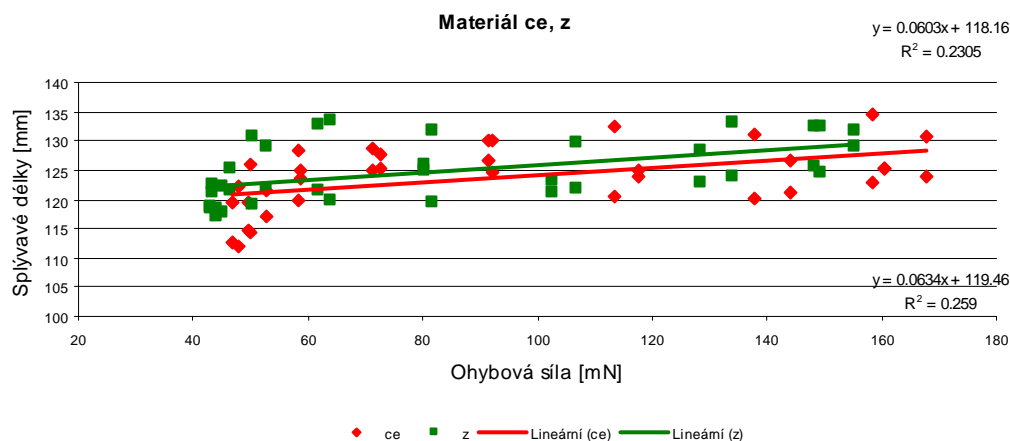
6. Predikce ohybové tuhosti a splývavosti

V této kapitole je provedeno šetření, jak predikovat splývavost z ohybové tuhosti, respektive hledání možností, jak a zda vůbec predikci lze provést metodou kruhových vzorků. K tomu byla naměřena průměrná ohybová tuhost na kruhových vzorcích v krocích po 10°. Ve stejných směrech byly naměřeny splývavé délky. Dopočítána byla plocha a obvod splývavého vzorku a koeficient DC. Zároveň byla vypočítána plocha i obvod obrazce z polárního diagramu ohybové tuhosti a tvarový faktor vycházející z poměru plochy a obvodu.

V předchozí kapitole již byl uveden pomocí korelace vztah mezi ohybovou tuhostí a splývavými délkami a mezi ohybovou tuhostí a koeficientem splývavosti. Z dat vyšla přímo úměrná závislost, kdy u materiálů s větší ohybovou tuhostí byly naměřeny větší hodnoty splývavých délek i vyšší koeficient splývavosti. Zvláště mezi ohybovou tuhostí a průměrnými splývavými délkami vyšla vysoká závislost. Jak je splývavost závislá na ohybové tuhosti v různých směrech ukazují následující grafy (obr. 40, 41), kde je ke každé průměrné hodnotě ohybové síly v určitém úhlu od 0° až 350° přiřazena příslušná průměrná hodnota splývavé délky.



Obr. 40 Vztah mezi ohybovou silou a splývavými délkami, materiál b a c.



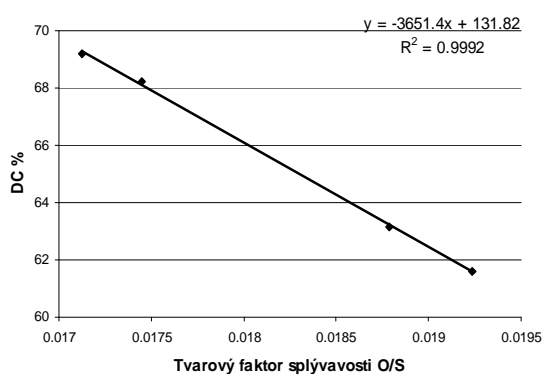
Obr. 41 Vztah mezi ohybovou silou a splývavými délkami, materiál ce a z.

Z grafů a výpočtů lze pozorovat přímo úměrnou závislost, kdy větší splývavé délky odpovídají větším ohybovým silám v daném směru. U materiálu *b* vychází Pearsonův korelační koeficient $R = 0,18$, o datech se dá říci, že jsou nezávislé. Mezi ohybovou silou a splývavými délkami u materiálů *c*, *ce* a *z* lze pozorovat slabou závislost, Pearsonův korelační koeficient vychází přibližně 0,5 pro všechny tři materiály. Tyto tři materiály vykazují významnější rozdíl mezi ohybovou tuhostí ve směru útku a osnovy (horizontální orientace v polárním diagramu). Přestože je mírná orientace u splývavosti znatelná, nelze s jistotou předpovědět, jak se bude tvar drapérie utvářet. Variabilita jednotlivých splývavých délek v různých směrech vychází okolo 10% (přibližně 12 mm ze 120 mm splývavé délky způsobené ke splývání), což je u takto málo splývavé textilie znatelný rozdíl.

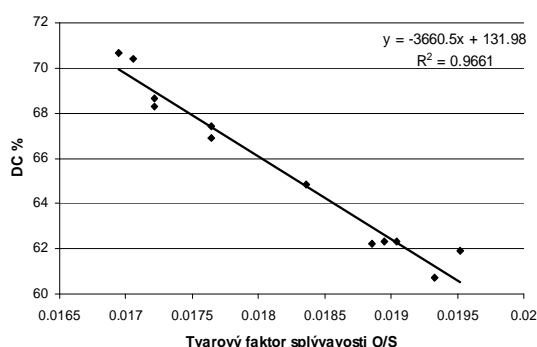
Dále byla hledána souvislost mezi tvarovým faktorem a splývavostí. Tvarový faktor TF byl vypočten z poměru obvodu O a plochy S, které byly naměřeny z obrazce v polárním diagramu splývavosti. Vypočítá se dle vztahu:

$$TF = \frac{O}{S} \quad (28)$$

Pokud uvedeme do souvislost tvarový faktor splývavosti s koeficientem DC% ukáže se mezi daty velmi vysoká závislost, pearsonův korelační koeficient pro průměr všech čtyř dat (obr.42 a) vychází téměř 1 a pro dvanáct jednotlivých vzorků (obr. 42 b) $R = 0,97$, mezi tvarovým faktorem a koeficientem je téměř lineární závislost.



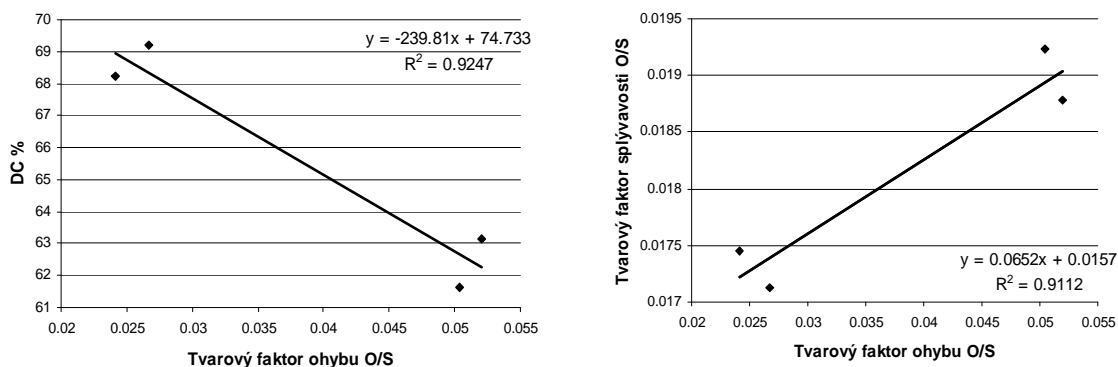
a)



b)

Obr. 42 Vztah mezi tvarovým faktorem a koeficientem splývavosti DC, a) průměry materiálů c, ce, z, b) průměry z dvanácti vzorků.

Pokud srovnáme s koeficientem splývavosti tvarový faktor ohybové tuhosti, který byl naměřen z obrazce v polárním diagramu ohybové tuhosti, získáme vysoký korelační koeficient 0,96 (obr. 43 a). Tvarové faktory splývavosti a tvarové faktory obvodu se ukázaly také vysoce korelované $R = 0,95$ (obr. 43 b). Tvarový faktor by se tak mohl ukázat jako dobrý predikátor koeficientu splývavosti DC.



a)

b)

Obr. 43 a) vztah mezi tvarovým faktorem ohybu a koeficientem splývavosti DC, b) vztah mezi tvarovým faktorem ohybu a tvarovým faktorem splývavosti.

Dále byly jak pro ohybovou tuhost, tak pro splývavost dopočítána cirkularita c a tvarový faktor podle Malinowské q . Ačkoli se jedná o vztahy pro výpočet vztahů průřezu vlákna, tvarově jsou podobné jak průmětu splývajícího vzorku, tak obrazcům v diagramu ohybové tuhosti a splývavosti. Výzkum nových metod spočívá právě v hledání možností. Následně pomocí korelace byly hodnoty uvedeny do vzájemných vztahů.

$$c = \frac{S}{S_e} = \frac{4\pi S}{p^2} \quad (29)$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{c}}{\sqrt{c}} \quad (30)$$

Kde S je plocha průmětu

S_e je ekvivalentní plocha (plocha kruhu se stejným obvodem jako má S)

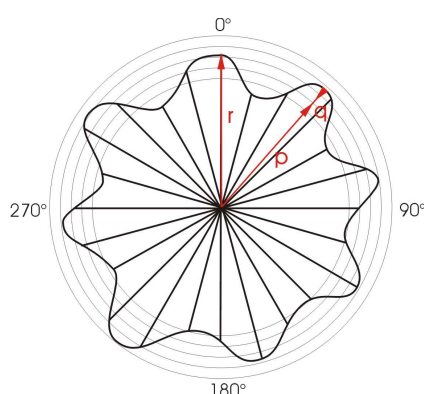
p obvod průmětu

Hodnoty byly mezi sebou navzájem porovnány, ale významné korelace mezi hodnotami ohybové tuhosti a hodnotami splývavosti nebyly nalezeny. Jediný významný vztah byl nalezen ve srovnání tvarového faktoru splývavosti dle Malinowské a koeficientem splývavosti, kde korelace vyšla -0,95. Lze shrnout, že výpočty pro tvary průřezu vláken nelze pro predikci použít.

O predikci splývavosti z ohybové tuhosti se již dříve pokusili ve své práci Sidabraite a Mastekaite [16]. Naměřili ohybovou tuhost v různých směrech a pomocí poměru V , který závisí na rozdílech mezi ohybovou tuhostí v diagonálním směru a dvou hlavních směrech, porovnali, zda lze V použít pro predikci. Vyhodnotili, že poměr V je vhodný pro určování odlišností v polárním diagramu ohybové tuhosti, ale pro

předvídání splývavosti vhodný není. Jako možné vysvětlení uvedli, že rozdílnost splývavých délek mezi jednotlivými textiliemi je příliš malá. Ani v této práci, na základě porovnání dat, se nepotvrdilo, že by se z poměru V dala splývavost textilií předvídat.

Dalšími, jež se pokusili najít vztah pro predikování splývavosti byli Lo s kolegy [17]. Nejdříve stanovili matematický model pro popis profilu splývající textilie naměřené na Cusickově drapemetru a stanovené pomocí polárních souřadnic. Pro modelaci profilu drapérie vybrali goniometrickou funkci:



$$r = p + q \cdot \sin(k\theta + \alpha), \quad (31)$$

Obr. 44 Schéma měření profilu průmětu.

kde r je průměrná radiální délka mezi nejnižšími a nejvyššími body v průmětu
 q je poloviční hloubka vlny
 r je poloměr průmětu
 k je počet vln
 α konstanta, reprezentující úhel, který svírá osa ve směru útku se sousedním vrcholem

V počítačovém programu MATLAB stanovili pomocí polárních souřadnic hodnoty konstant p , q a k . Vstupními parametry byli souřadnice (r, θ) splývavého profilu od 0° do $325,5^\circ$ po krocích $7,5^\circ$. Automaticky je vypočítán koeficient splývavosti a počet a rozmístění vln. Predikovaný profil splývajícího vzorku byl prezentován v polárním diagramu. Teoretická data získaná z tohoto modelu porovnali s daty získanými experimentálně. Odchyly byly méně než 10%. Experimentální a teoretický koeficient DC% měli vysoký regresní koeficient ($R^2 = 0,9928$). Odchyly mezi teoretickým DC% předikovaným z DP modelu a experimentální DC% byli menší než 8,3 %.

Lo s kolegy také uvedl, že profil splývající textilie může být předikován z mechanických vlastností použitím regresní analýzy.

Prozkoumali závislost konstant p , q , k z modelu splývající textilie (31) na vybraných mechanických vlastnostech. Následně je uvedli do vztahu s experimentálními daty vypočítanými dvěma cestami. V prvním případě použili střední hodnoty vybraných vlastností získaných ve směru osnovy a útku. V druhém případě použili střední hodnotu ze směrů v osnově, útku a $\pm 45^\circ$. Pomocí postupné regresní analýzy hledali kombinace mechanických vlastností, které dávají nejlepší popis v predikci splývavosti. Stanovili tři rovnice (32, 33, 34)) pro výpočet konstant p , q a k . Zjistili, že nejlépe se se dají přímo vypočítat z ohybové a smykové hystereze v různých směrech. Doplněním experimentálních dat do těchto tří rovnic, lze vypočítat konstanty p , q a k , kterými se pak dá předpovědět profil splývající textilie.

$$p = 10,795 + 7,458(2HB_T) + 0,1087(2HG5_T), \quad (32)$$

$$q = 0,5116 + 1,861(2HB_T) - 0,122(2HG5_T), \quad (33)$$

$$k = 2,753 + 0,8153(2HB_T) - 0,469(2HG5_T), \quad (34)$$

kde $2HB$ je ohybová hystereze

$2HG$ smyková hystereze v $0,5^\circ$

$2HG5$ smyková hystereze v 5°

T je střední hodnota charakteristiky získaná ze směru osnovy, útku
a $\pm 45^\circ$ (sufix)

Závěr

Cílem práce bylo zkoumání vlivu anizotropie ohybu na splývavost textilií. V teoretické části byly popsány pojmy ohybová tuhost a splývavost a představeny nejběžnější metody a principy jejich měření. Dále byl proveden průzkum dosavadních znalostí v oblasti ohybových a anizotropních vlastností od počátků až po současnost.

V experimentální části byla měřena ohybová tuhost a splývavost. Materiály poskytla firma Velveta a.s.. Jedná se o měkké tkaniny s hustým nízkým vlasem ve

vyšších plošných hmotnostech, které v této oblasti dosud zkoumány nebyly. Tkaniny jsou jednak bez úpravy a jednak jsou opatřeny speciálními úpravami Teflon® Fabric Protektor a 3XDRY®.

Ohybová tuhost byla naměřena na kruhových vzorcích pomocí přístroje TH-7. Naměřeno bylo osmnáct hodnot na jedné polovině vzorku s krokem po deseti stupních. Zbylé hodnoty byly do polárních diagramů doplněny. Byl prošetřen dopad doplňování hodnot a chybné zadávání do polárních diagramů. Byla provedena analýza ohybu v závislosti na směru pomocí polárních diagramů. Stupeň anizotropie byl vyhodnocen v závislosti na dvou hlavních směrech, osnovy a útku. Dále byl zahrnut třetí, diagonální, směr podle Cooperova modelu, který uvažuje asymetrii textilní struktury. Prokázalo se, že pro popis anizotropie ohybu textilií jsou významné oba principy.

Splývavost byla měřena na drapemetru, přístroji založeném na Cusickově principu. Pomocí digitálního fotoaparátu byl zachycen 2D obraz splývajícího vzorku. V programu CorelDraw byly obrazy upraveny a naměřeny splývavé délky. Dopočítána byla plocha, obvod a koeficient splývavosti. Pomocí statistických výpočtů a grafického zpracování bylo zjišťováno, zda může být použit jeden vzorek pro vícero měření, nebo zda musí být pro každé měření zvláštní vzorek. Pokud by se prokázalo, že je možné experiment provádět opakovaně na tomtéž vzorku, znamenalo by to především úsporu materiálu pro výzkum a také úsporu času potřebného pro přípravu vzorků. Mezi oběma soubory byly shledány velmi malé rozdíly. To vede k závěru, že měření může probíhat na jednom vzorku opakovaně.

Vliv anizotropie ohybové tuhosti na splývavost byl sledován pomocí polárních diagramů. Ohybová tuhost vyšla jednoznačně horizontálně orientovaná, tj. vyšší ohybové síly byly naměřeny ve směru útku. Jelikož diagram splývavosti ukazuje téměř kruhový tvar, byl hledán nejčastější výskyt minimálních a maximálních hodnot splývacích délek. Srovnáním hodnot se ukázala shodná orientace obou měřených veličin. Výjimku tvořil materiál v experimentu označený jako *b*. Proto byla prošetřena ohybová tuhost zvlášť na lící a na rubní straně. Síly naměřené na lící straně byly znatelně vyšší, navíc právě u materiálu *b* byly shledány výchylky v opačném směru, které výsledný tvar polárního diagramu ovlivnili. Splývavost textilie byla zkoumána jen na rubní straně. Při splývání se však textilie prohýbá na obě strany, proto má na splývání vliv jak ohybová tuhost po rubní straně, tak i ohybová tuhost po lící straně. Data ohybové tuhosti a splývavosti byla srovnána pomocí regresní analýzy. Pearsonův

korelační koeficient ukázal silnou přímou lineární závislost mezi ohybovou silou, splývavými délkami a koeficientem splývavosti.

Pomocí statistických výpočtů byly hledány vztahy mezi plošnou hmotností, ohybovou silou a splývavými délkami. Logicky by se dalo očekávat, že tkaniny s vyšší plošnou hmotností budou mít vyšší tuhost v ohybu a nižší splývavost. Výjimkou je materiál označený jako z, u nějž je ohybová síla v nepřímé úměře ke splývavosti a plošné hmotnosti. Vysvětlením může být teflonová úprava, která by mohla mít na tkaninu změkčující vliv, ale která nemusela ovlivnit splývavost vzhledem ke struktuře textile.

V závěrečné kapitole byl hledán vztah pro predikci splývavosti metodou kruhových vzorků. Pro posouzení vzájemných vztahů pomocí lineární regrese byly k již vypočteným hodnotám z předchozích kapitol dopočítán tvarový faktor ohybu a splývavosti, cirkularita a tvarový faktor dle Malinowské. Ač se jedná o charakteristiky pro určování tvaru průřezu vlákna, byly do výzkumu zahrnuty pro jejich vzájemnou podobu s tvary v polárních diagramech. Mezi nimi ale významný vztah nalezen nebyl. Tvarový faktor vypočtený z poměru obvodu a plochy se ukázal vysoce korelovaný s koeficientem splývavosti. Mohl by proto být dobrým predikátorem splývavosti.

Je potřeba zohlednit, že byl zkoumán omezený počet vzorků z jednoho typu materiálu. Pro jednoznačný závěr, zda je možné splývavost zkoumat opakovaně na jednom vzorku, doporučuji provést podrobnější výzkum, který by zahrnul materiály s různou vazbou, plošnou hmotností, dostavou a v různém materiálovém složení. Navrhuji také prozkoumat vzorky různých velikostí pro porovnání rozdílných ploch způsobitelných ke splývání a využít možnosti automatického zdvihu vzorků pro eliminaci chyb způsobených lidským faktorem. To může být předmětem zkoumání v další práci.

Seznam použité literatury

- [1] STANĚK, J. *Nauka o textilních materiálech: díl I, část 4, Vlastnosti délkových a plošných textilií*. Liberec: VŠST, 1988.
- [2] ČSN 80 0858. *Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií*. 1974.
- [3] KOVAČIČ, V. *Textilní zkušebnictví 2*, 1. vydání, Liberec, Katedra textilních materiálů, Technická univerzita v Liberci 2004, ISBN 80-7083-825-6
- [4] LEHRAUSOVÁ, M. *Anizotropie vybraných vlastností textilií*. Liberec, 2006. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [5] STANĚK, J. a M. KUBÍČKOVÁ. *Oděvní materiály*. Liberec: VŠST, 1986.
- [6] *Bs 6100: Section 2.5 : 1991* [online]. S.l.: BSI, 1991 [cit. 2012-04-29]. ISBN 05-801-9293-8. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/27510655/BS-3356-1990-Method-for-Determination-of-Bending-Length-And>
- [7] *ASTM D1388 - 08: Standard Test Method fo Stiffness of Fabrics* [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://www.astm.org/Standards/D1388.htm>
- [8] *ASTM D4032 - 08: Standard Test method fo Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure* [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://www.astm.org/Standards/D4032.htm>
- [9] HLOCH, S., L. SODOMKA, J. VALÍČEK a A. RADVANSKÁ. *Struktura, vlastnosti, diagnostika a technologie textilií*. 1. vyd. Prešov: Vydavateľstvo Michala Vaška, 2006. ISBN 80-8073-665-5.
- [10] ČSN 80 0835. *Zkoušení splývavosti plošných textilií průmětem*. 1971.
- [11] *BS 5058: Method for the assessment of drape of fabric* [online]. 1973 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=481>
- [12] *IS 8357: Method for the assessment of fabric drape* [online]. 1977 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=481>
- [13] KENKARE, N. a T. MAY-PLUMLEE. Fabric Drape Measurement: A Modified Method Using Digital Image Processing. *Journal of Textile and Apparel. Technology and Management* [online]. Spring 2005, Volume 4, Issue 3, 1 - 8 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume4issue3/articles/Plumlee/Plumlee_first_148_05.pdf
- [14] MOROOKA, H. a M. NIWA. Relation between Drape Coefficients and Mechanical Properties of Fabrics. *Members, TMSJ*. 1976, Vol. 22, No. 3, 67 - 73
- [15] HU, J. a Y-F CHAN. Effect of Fabric Mechanical Properties on Drape. *Textile Research Journal*. 1998, roč. 68, č. 1., s. 57-64.
- [16] SIDABRAITE, V. a V. MASTEIKAITĖ. Effect of Woven Fabric Anisotropy on Drape

- Behaviour. *Material Science (Medžiagotyra)*. 2003, Vol. 9, No. 1, 111 - 115. ISSN 1392-1320.
- [17] LO, W. M., J. L. HU a L. K. LI. Modeling a Fabric Drape Profile. *Textile Research Journal*. 2002, 72(5), s. 454-463.
- [18] MIZUTANI, C., T. AMANO a Y. SAKAGUCHI. A New Apparatus for the Study of Fabric Drape. *Textile Research Journal*. 2005, 75(1), s. 81-87.
- [19] FRIDRICHOVÁ, L. *K problematice ohybové tuhosti textilií*. Liberec, 2008. Habilitační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [20] PECH, M. *Anizotropie ohybu textilií*. Liberec, 2010. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [21] ŠIMÁČKOVÁ, K. *Vliv geometrie a struktury textilie na její ohybovou tuhost*. Liberec, 2011. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [22] SODOMKA, L. a M. DUDÍKOVÁ. *Několik poznámek k využití KES soustavy*. Česká společnost pro nedestruktivní zkoušení materiálu. 37. mezinárodní konference. Praha: Defektoskopie, 2007.
- [23] ARONOVÁ, M. *Ohybové vlastnosti plošných textilií. Metody měření*. Liberec, 2006. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [24] HOLÝ, J. *Měřič splývavosti textilií*. Liberec, 2006. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [25] VELEKOVÁ, J. *Porovnání metod hodnocení splývavosti*. Liberec, 2003. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [26] AL-GAADI, B., F. GOKTEPE a M. HALASZ. A new method in fabric drape measurement and analysis of the drape formation process. *Textile Research Journal*. 2012-02-21, roč. 82, č. 5, s. 502-512. ISSN 0040-5175. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0040517511420760>
- [27] PAŘILOVÁ, Hana. *Textilní zbožížnalství: tkaniny : učební texty pro bakalářská studia v prezenční i kombinované formě výuky*. Vyd. 3. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 96 s. ISBN 80-708-3974-0.
- [28] *Velveta a.s.* [online]. [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://www.velveta.cz/>
- [29] HU, J. L., W. M. LO a M. T. LO. Bending Hysteresis of Plain Woven Fabrics in Various Directions. *Textile Research Journal*. 2000, roč. 70, č. 3, 237 - 242.

PŘÍLOHY

Příloha A – měření jednoho vzorku opakovaně x měření více vzorků jednou**Tab. A.1 Splývavé délky jednotlivých vzorků měřených 10x.**

vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b1	118	2,74	2,32	114,5	121,9
b2	117	1,94	1,66	114,2	119,5
b3	118	1,41	1,19	116,1	120,9
c1	118	1,18	0,99	116,9	120,1
c2	118	1,46	1,24	116,5	120,5
c3	121	1,75	1,45	118,4	123,2
ce1	126	2,16	1,72	122,7	128,6
ce2	123	1,75	1,42	120,8	125,5
ce3	123	1,37	1,11	121,9	120,9
z1	124	1,09	0,88	122,6	125,5
z2	124	1,00	0,80	123,0	125,7
z3	126	1,23	0,98	124,5	127,9

Tab. A.2 Splývavé délky ze tří samostatných vzorků, vždy první měření..

Vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b	117	2,37	2,03	115,0	118,4
c	119	1,47	1,24	117,9	120,0
ce	126	1,44	1,15	124,6	126,7
z	126	1,25	0,99	124,9	126,7

Tab. A.3 Plochy průmětů jednotlivých vzorků měřených 10x.

vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b1	43976	2059	4,68	41173	46778
b2	42934	1418	3,30	41004	44864
b3	43743	1052	2,41	42311	45175
c1	44040	922	2,09	42786	45294
c2	44050	1113	2,53	42536	45565
c3	45841	1544	3,37	43740	47942
ce1	49749	1646	3,31	47509	51988
ce2	47639	1383	2,90	45757	49521
ce3	47305	1041	2,20	45889	48720
z1	48257	836	1,73	47119	49395
z2	48517	757	1,56	47487	49548
z3	49943	969	1,94	48624	51262

Tab. A.4 Plochy průmětů ze tří samostatných vzorků, vždy první měření.

Vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b	42950	1832	4,27	41640	44261
c	44388	1137	2,57	43575	45201
ce	49595	1219	2,46	48723	50467
z	49607	984	1,98	48903	50311

Tab. A.5 Obvody průmětů jednotlivých vzorků měřených 10x.

vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b1	828	14,9	1,80	807,8	848,4
b2	829	27,5	3,32	791,6	866,4
b3	853	42,3	4,96	795,8	910,8
c1	834	25,9	3,10	799,3	869,6
c2	838	32,4	3,87	794,4	882,6
c3	842	64,2	7,62	755,4	930,1
ce1	848	11,3	1,34	832,6	863,4
ce2	840,1	23,0	2,74	808,8	871,4
ce3	834	6,31	0,76	825,7	842,9
z1	830	2,49	0,30	827,1	833,9
z2	835	7,42	0,89	824,9	872,3
z3	846	19,4	2,29	819,7	872,3

Tab. A.6 Obvody průmětů ze tří samostatných vzorků, vždy první měření.

Vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b	858	38,7	4,51	830,7	886,1
c	825	2,95	0,36	822,6	826,8
ce	846	11,7	1,38	838,1	854,8
z	844	9,92	1,18	836,7	850,9

Tab. A.7 Koefficient splývavosti DC % jednotlivých vzorků měřených 10x.

vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b1	62	2,9	4,68	5,82	6,62
b2	61	2,0	3,30	5,80	6,35
b3	62	1,5	2,41	5,99	6,39
c1	62	1,3	2,09	6,05	6,41
c2	62	1,6	2,53	6,02	6,45
c3	65	2,2	3,37	6,19	6,78
ce1	70	2,3	3,31	6,72	7,35
ce2	67	2,0	2,90	6,47	7,01
ce3	67	1,5	2,20	6,49	6,89
z1	68	1,2	1,73	6,67	6,99
z2	69	1,1	1,56	6,72	7,01
z3	71	1,4	1,94	6,88	7,25

Tab. A.8 Koefficient splývavosti DC % ze tří samostatných vzorků, vždy první měření.

Vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b	61	2,6	4,27	5,89	6,26
c	63	1,6	2,56	6,16	6,39
ce	70	1,1	1,58	6,89	7,14
z	70	1,4	1,98	6,92	7,12

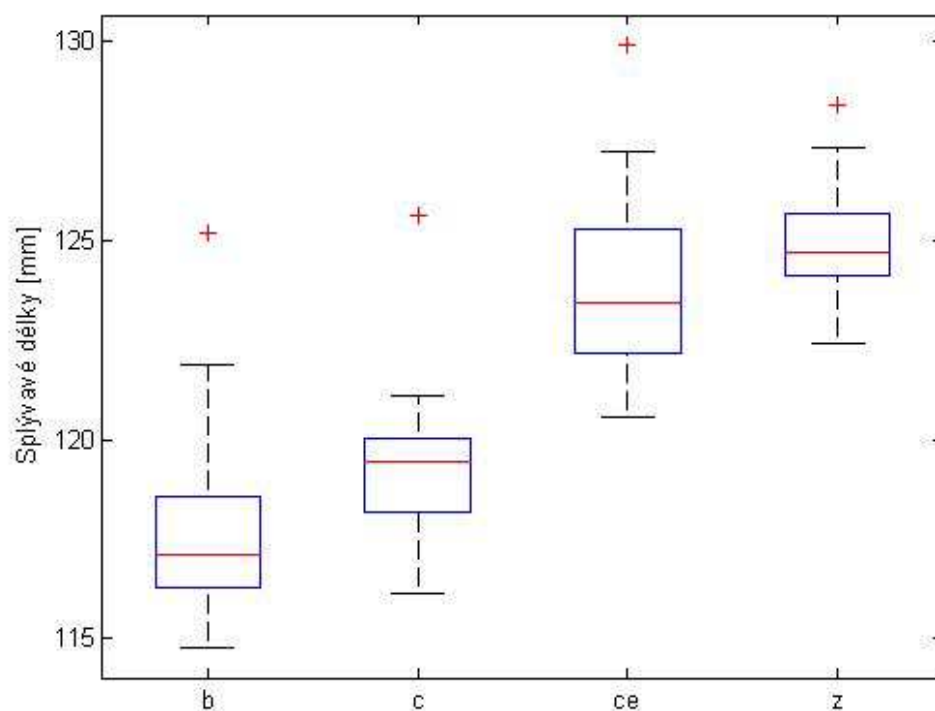
Tab. A.9 Splývavé délky jednotlivých vzorků měřených 10x.

vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
b1+b2+b3 +c1+c2+c3	119	3,2	2,71	118,0	120,2
ce1+ce2+ce3 +z1+z2+z3	125	1,4	1,12	124,6	125,5

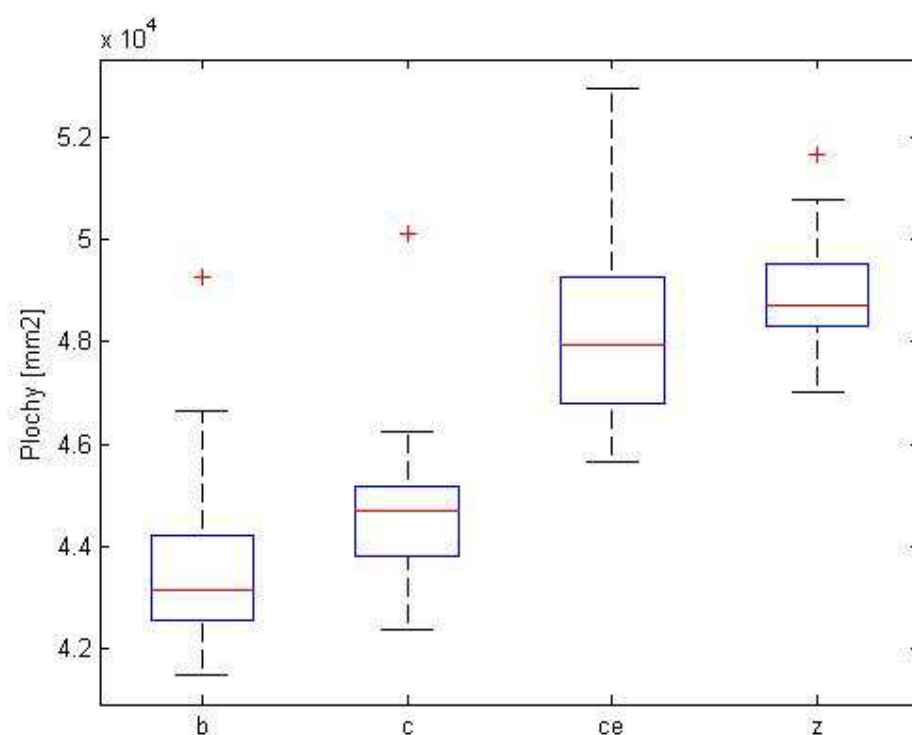
Tab. A.10 Splývavé délky ze tří samostatných vzorků, vždy první měření..

Vzorek	\bar{x}	s	v	95% IS dolní mez	95% IS horní mez
1b+2b+3b +1c+2c+3c	118	2,1	1,82	117,1	118,6
1ce+2ce+3ce +1z+2z+3z	126	1,2	0,96	125,3	126,1

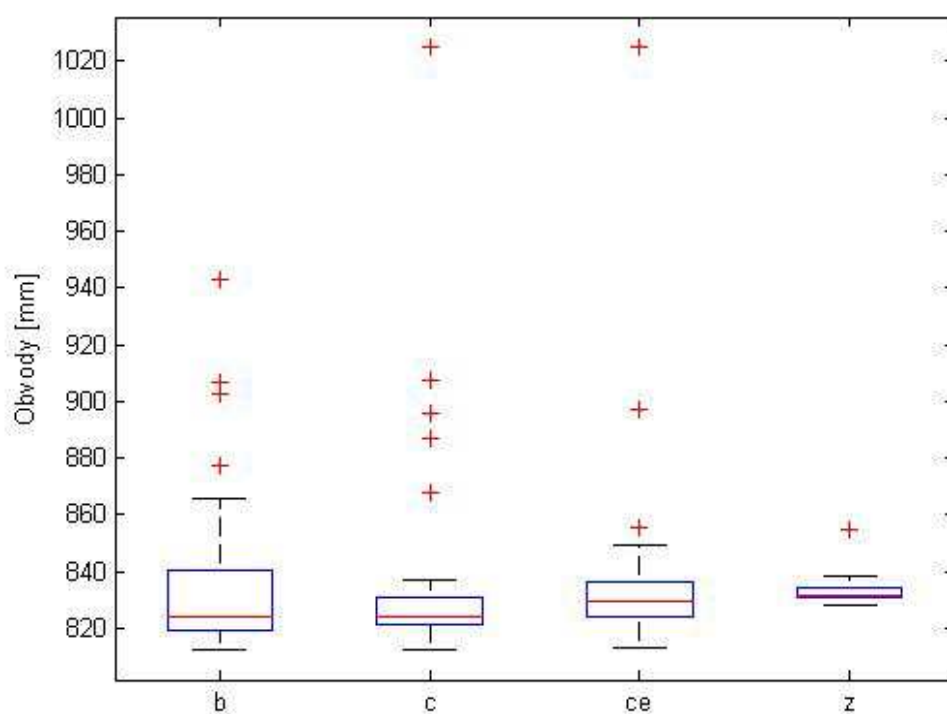
Příloha B – Data splývavosti znázorněné pomocí krabicových grafů



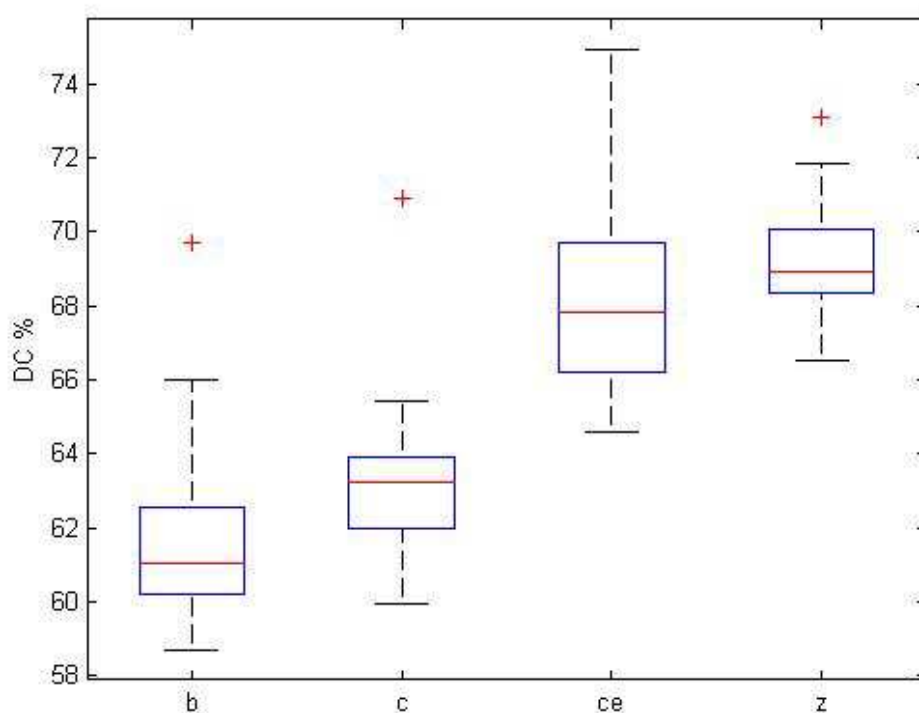
Obr. B.1 Graf splývavých délek



Obr. B.2 Graf ploch splývajících vzorků

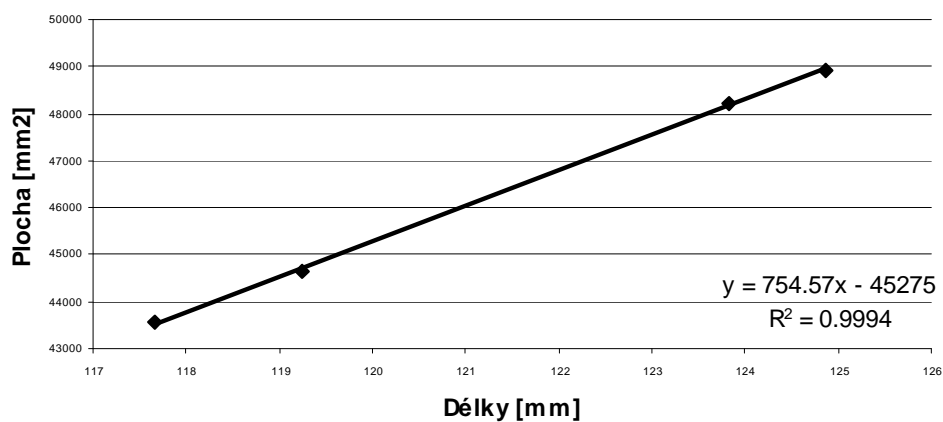


Obr. B.3 Graf obvodů splývajících vzorků

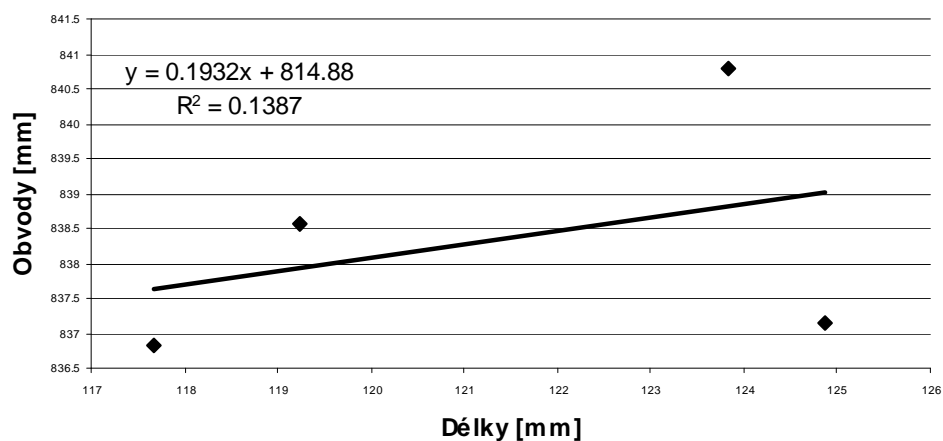


Obr. B.4 Graf koeficientu splývavosti DC %

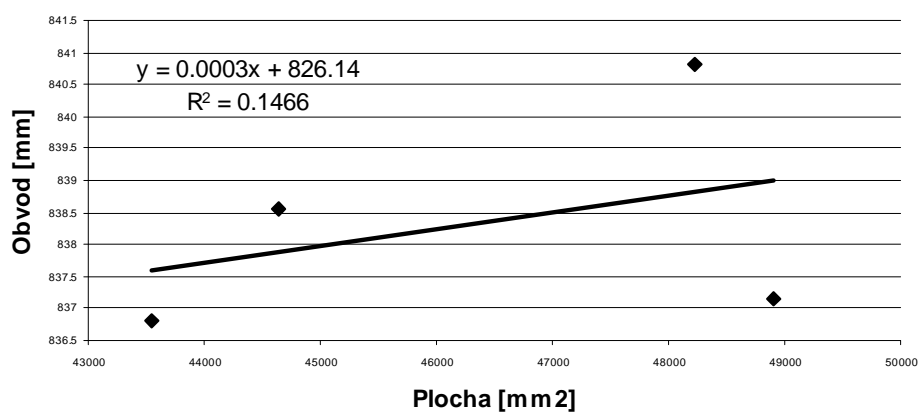
Příloha C – korelace hodnot splývavosti



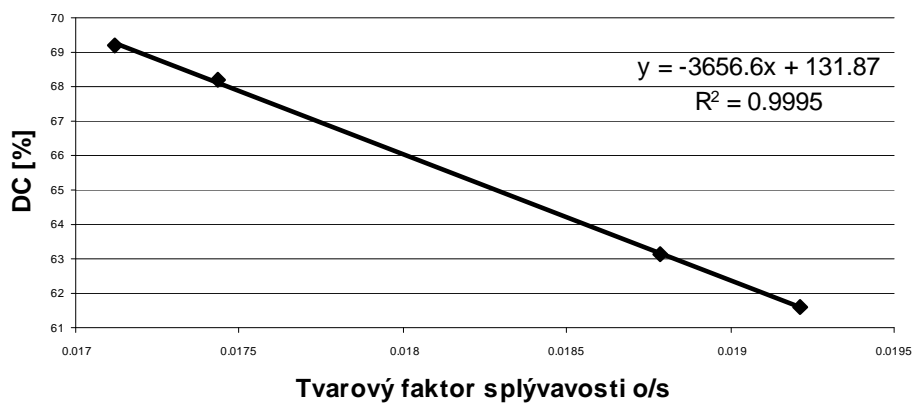
Obr. C.1 Vztah mezi splývavými délkami a plochou



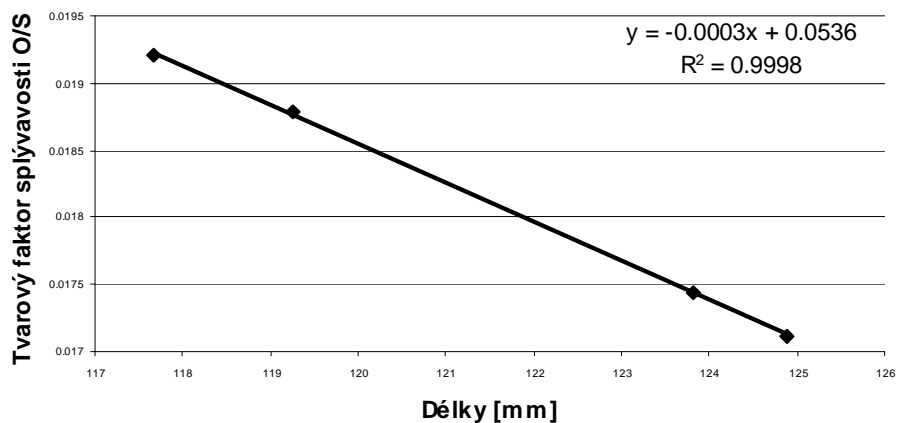
Obr. C.2 Vztah mezi splývavými délkami a obvodem



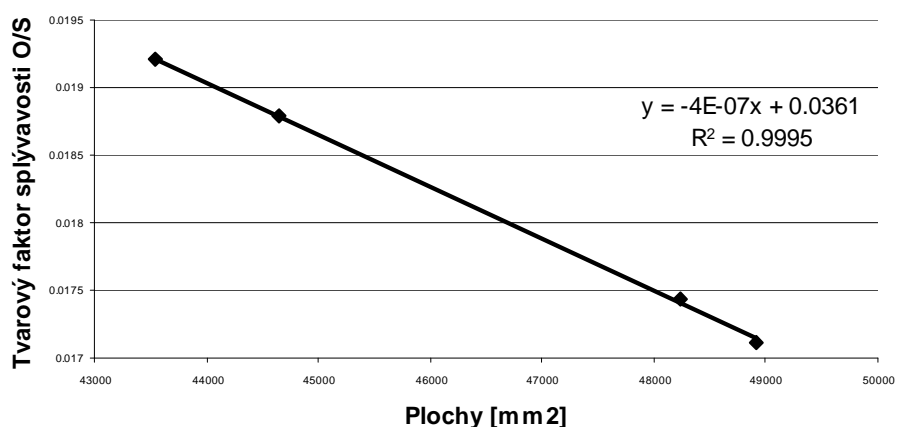
Obr. C.3 Vztah mezi plochou a obvody měřeného vzorku



Obr. C.4 Vztah mezi tvarovým faktorem (obvod/plocha) a koeficientem splývavosti DC.



Obr. C.5 Vztah mezi splývavými délkami a tvarovým faktorem.

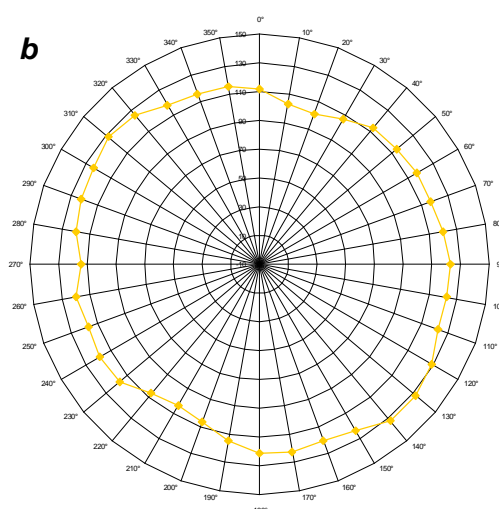


Obr. C.6 Vztah mezi plochou a tvarovým faktorem splývavosti.

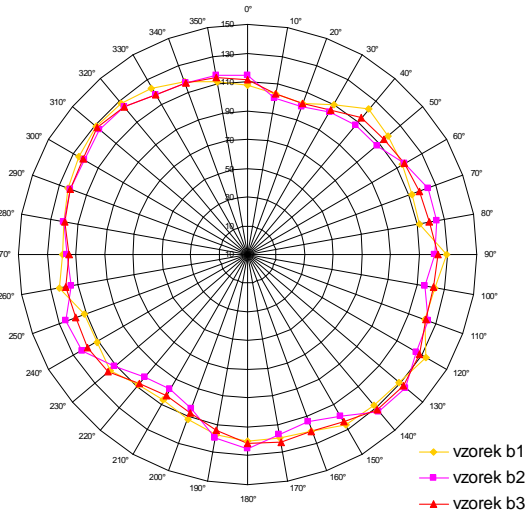
Příloha D – Anizotropie splývavosti

- 1) Průměr ze všech měření.
- 2) Průměr z deseti měření – tři vzorky.

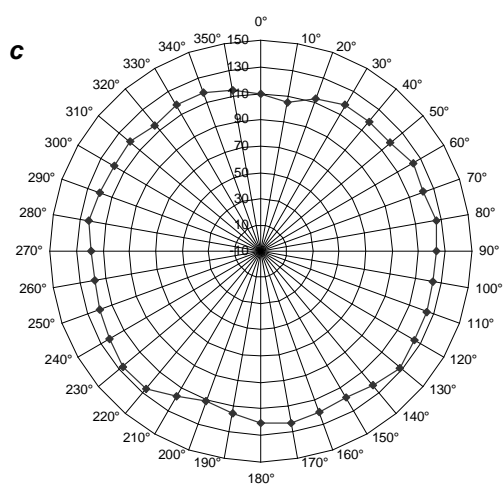
1) materiál b



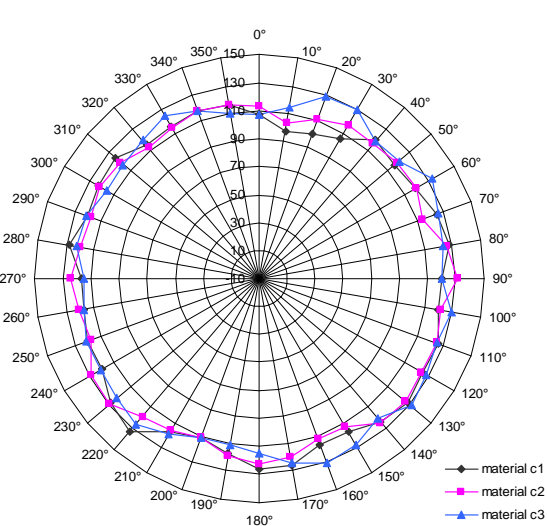
2) materiál b



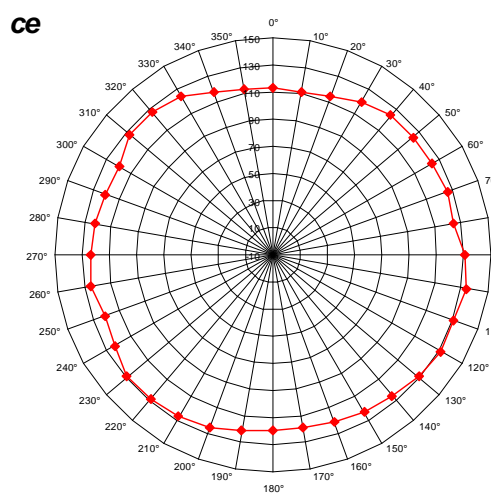
1) materiál c



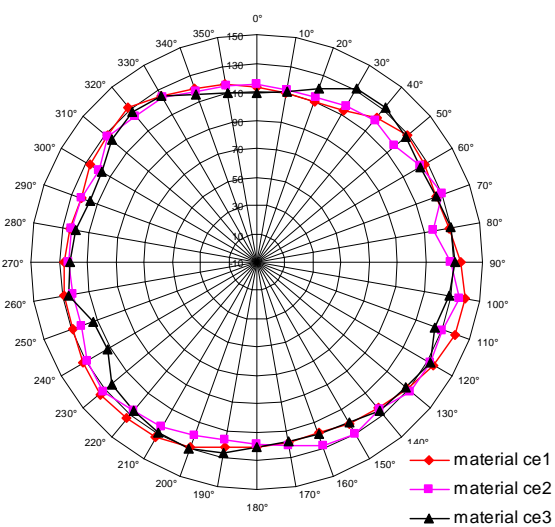
2) materiál c



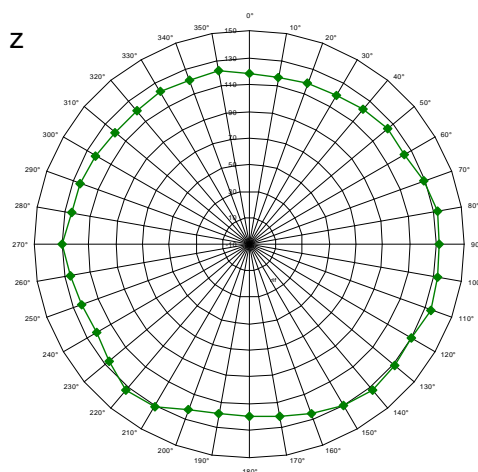
1) materiál ce



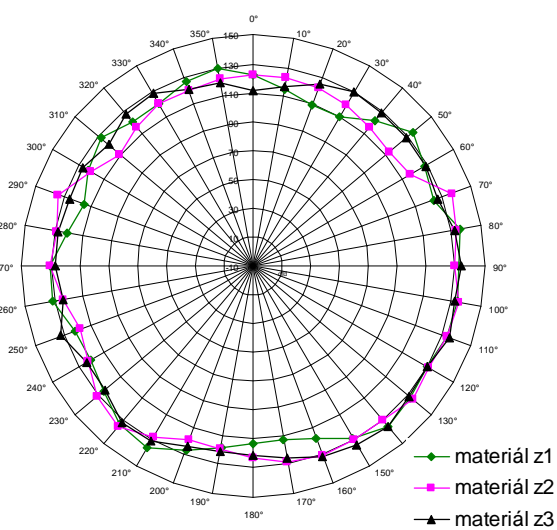
2) materiál ce



1) materiál z



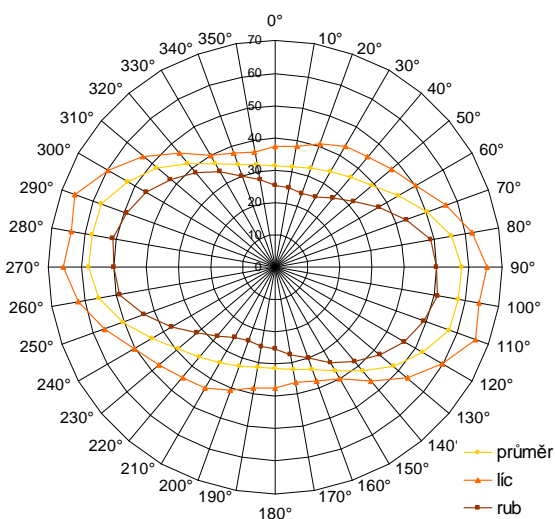
2) materiál z



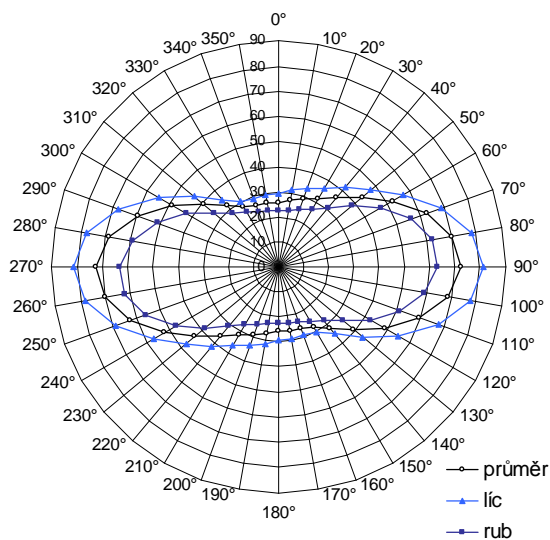
Příloha E – Anizotropie ohybové tuhosti

Ohybové síly naměřené na lícní, rubní straně a průměrná ohybová síla obou stran.

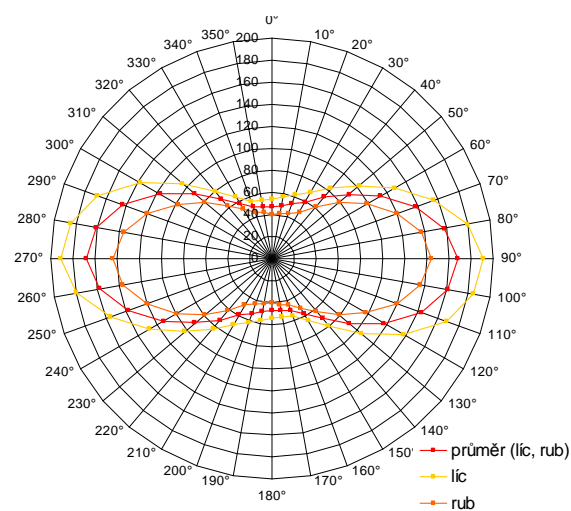
Materiál b



Materiál c



Materiál ce



Materiál z

